



TUGAS AKHIR – RC141501

**MODIFIKASI APARTEMEN PAVILION PERMATA
MENGUNAKAN STRUKTUR KOMPOSIT BAJA BETON**

DIAN RAHMAT HARDIANTO
NRP 3115 105 039

Dosen Pembimbing I :
Dr. techn. Pujo Aji ,S.T.,MT
NIP. 197302081998021001

Dosen Pembimbing II :
Budi Suswanto ,S.T.,M.T.,Ph.D.
NIP. 197301281998021002

JURUSAN TEKNIK SIPIL
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2017



TUGAS AKHIR – RC141501

**MODIFIKASI APARTEMEN PAVILION PERMATA
MENGUNAKAN STRUKTUR KOMPOSIT BAJA BETON**

DIAN RAHMAT HARDIANTO
NRP 3115 105 039

Dosen Pembimbing I :
Dr. techn. Pujo Aji ,S.T.,MT
NIP. 197302081998021001

Dosen Pembimbing II :
Budi Suswanto ,S.T.,M.T.,Ph.D.
NIP. 197301281998021002

JURUSAN TEKNIK SIPIL
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2017



FINAL PROJECT – RC141501

**MODIFICATION OF APARTEMENT PAVILION
PERMATA USING COMPOSITE STEEL
CONCRETE STRUCTURE**

DIAN RAHMAT HARDIANTO
NRP 3115 105 039

Major Supervisor I :
Dr. techn. Pujo Aji ,S.T.,MT
NIP. 197302081998021001

Major Supervisor II :
Budi Suswanto ,S.T.,M.T.,Ph.D.
NIP. 197301281998021002

CIVIL ENGINEERING DEPARTEMENT
Faculty of Civil Engineering and Planning
Sepuluh Nopember Institute of Technology
Surabaya 2017



FINAL PROJECT – RC141501

**MODIFICATION OF APARTEMENT PAVILION
PERMATA USING COMPOSITE STEEL
CONCRETE STRUCTURE**

DIAN RAHMAT HARDIANTO
NRP 3115 105 039

Major Supervisor I :
Dr. techn. Pujo Aji ,S.T.,MT
NIP. 197302081998021001

Major Supervisor II :
Budi Suswanto ,S.T.,M.T.,Ph.D.
NIP. 197301281998021002

CIVIL ENGINEERING DEPARTEMENT
Faculty of Civil Engineering and Planning
Sepuluh Nopember Institute of Technology
Surabaya 2017

LEMBAR PENGESAHAN

MODIFIKASI APARTEMEN PAVILION PERMATA MENGUNAKAN STRUKTUR KOMPOSIT BAJA BETON

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada
Program Studi S-1 Lintas Jalur Jurusan Teknik Sipil
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

DIAN RAHMAT HARDIANTO

NRP. 3115 105 039

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir :

1. Dr. techn. Pujiono, ST., MT. (Pembimbing I)
2. Budi Suswanto, ST., MT., Ph.D. (Pembimbing II)



**SURABAYA
JULI, 2017**

MODIFIKASI APARTEMEN PAVILION PERMATA MENGUNAKAN STRUKTUR KOMPOSIT BAJA BETON

Nama Mahasiswa : Dian Rahmat Hardianto
NRP : 3115105039
Jurusan : Teknik Sipil FTSP-ITS
Dosen Pembimbing 1 : Dr. tech. Pujo Aji, ST. MT
Dosen Pembimbing 2 : Budi Suswanto, ST. MT. PhD

ABSTRAK

Gedung Pavilion Permata yang berlokasi di Jl. Mayjen Sungkono merupakan salah satu dari sekian banyak apartemen kelas menengah sebagai hunian vertikal bertingkat tinggi yang saat ini mulai banyak bermunculan di Surabaya. Apartemen ini terdiri dari 13 lantai dan 1 lantai *basement* menggunakan struktur beton bertulang. Bangunan tersebut harus mampu menahan beban gempa dan memenuhi persyaratan konstruksi. Dalam pengerjaan tugas akhir ini akan dihitung menggunakan struktur komposit baja beton. Seperti yang kita ketahui bersama untuk membangun suatu gedung bertingkat membutuhkan waktu yang lama dan juga mahal. Dengan adanya teknologi yang ada saat ini pemilik gedung hanya memilih bahan yang mana lebih cepat penyelesaiannya, ekonomis dan kuat untuk struktur utama gedung tersebut karena semakin tinggi gedung semakin lama pengerjaannya dan mahal.

Ada pun keunggulan lain yang ditinjau dari ketahanan terhadap gempa, yang mana struktur komposit baja-beton berperilaku lebih baik dari pada beton bertulang biasa. Salah satu alternatif dari sekian banyak material struktur bangunan adalah baja beton komposit. Penggunaan baja komposit di Indonesia sudah semakin banyak karena adanya kelebihan-kelebihan yang dimiliki struktur baja komposit dibandingkan dengan struktur beton konvensional.

Modifikasi desain yang akan dilakukan adalah merubah struktur yang semula memakai beton bertulang konvensional menjadi struktur

komposit baja beton. Kemudian metode perhitungannya menggunakan peraturan yaitu Tata Cara Perhitungan Struktur Baja untuk Bangunan Gedung SNI 1729:2015 dan Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung SNI 1726:2012. Pemodelan dan analisa struktur dilakukan dengan program bantu SAP 2000 v18.

Dari analisa dan hasil perhitungan diperoleh hasil, yaitu: tebal pelat atap dan lantai 9 cm, dimensi balok anak menggunakan profil WF 400x200x7x11, dimensi balok induk atap dan balok induk lantai menggunakan profil WF 600x200x11x17, dimensi kolom lantai 1-13 profil KC 588x300x12x20. Sambungan struktur utama direncanakan sebagai sambungan kaku dengan baut tipe *high tension bolt (HTB)*. Perencanaan pondasi menggunakan tiang pancang diameter 45 cm dengan kedalaman 30 m dan dinding penahan tanah (*basement*) menggunakan jenis *FLAT CONCRETE SHEET PILE Type FRC-320 Class A*.

Kata kunci : Struktur Komposit Baja Beton, Struktur Baja, Resiko Gempa.

MODIFICATION OF APARTMENT PAVILION PERMATA USING CONCRETE-STEEL COMPOSITE STRUCTURE

Name : Dian Rahmat Hardianto
NRP : 3115105039
Major : Civil Engineering FTSP-ITS
Supervisor 1 : Dr. tech. Pujo Aji, ST. MT
Supervisor 2 : Budi Suswanto, ST. MT. PhD

Abstrack

Apartment Pavilion Permata, which is located on Jl. Mayjen Sungkono, is one of mid-end apartments in Surabaya that serves as high-rise dwelling. The apartment has 13 floors and 1 basement with reinforced concrete as the structure. The building must be earthquake-proof and comply with construction requirements. In this final paper, the writer will calculate building earthquake resistance using concrete-steel composite structure. It takes lots of time and money to build high-rise buildings, but with the help of recent technology, constructors and developers can choose time-saving, cost-saving as well as sturdy materials that fit in with the building's main structure. Because the higher the building, the longer the process and it needs extra money.

Concrete-steel composite structure has more advantages than normal reinforced concrete in terms of earthquake resistance. Composite steel is an alternative among structural materials. The material is increasingly used in Indonesia as composite steel structure has more advantages than conventional concrete structure.

Design modification which was employed in this study was changing the original building structure, which used conventional reinforced concrete, into concrete-steel composite. The calculation complied with the Calculation Procedures for Steel Structure Planning of Buildings SNI 1729:2015 and the Planning Procedures for Structural Earthquake Resistance of Buildings and Non-

Buildings. Modeling and structural analysis is done with SAP 2000 v18 auxiliary program.

From the analysis and calculation results obtained results, namely: the thickness of the roof plate and floor 9 cm, the dimensions of the beam using the profile WF 400×200×7×11, roof beam dimensions and floor beams using WF profile 600×200×11×17, dimensions of floor columns 1-3 KC profile 588×300×12×20. The main structure connection is planned as a rigid connection with high tension bolt (HTB) type bolts. Planning the foundation using a pile diameter of 45 cm with a depth of 30 m and a basement wall using the FLAT CONCRETE SHEET PILE Type FRC-320 Class A.

Keywords: concrete-steel composite structure, earthquake risk, steel structure.

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Wr. Wb

Dengan mengucapkan puji syukur kepada Allah SWT atas segala karunia, rahmat, dan ridho-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul “*Modifikasi Apartemen Pavilion Permata Menggunakan Struktur Baja Beton Komposit*”.

Dalam proses penyusunan Tugas Akhir ini, penulis mengucapkan terimakasih kepada semua pihak yang telah membantu. Untuk itu penulis mengucapkan terimakasih kepada :

1. Orang tua yang telah memberi dukungan, baik secara moril materil yang tak terhingga sehingga penulis bisa menyelesaikan Tugas Akhir ini.
2. Bapak Dr. tech. Pujo Aji, ST. MT dan Bapak Budi Suswanto, ST., MT., Ph.D selaku dosen pembimbing yang telah memberikan bimbingan, arahan, dan motivasi dalam penyusunan Tugas Akhir ini.
3. Semua pihak terkait yang telah membantu.

Penulis menyadari bahwa masih banyak kekurangan dan jauh dari kata sempurna. Oleh karena itu penulis mengharapkan saran dan kritik demi sempurnanya penyusunan tulisan ini. Semoga tulisan ini dapat memberikan manfaat bagi para pembaca dan semua pihak.

Surabaya, Juni 2016

Penulis

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR ISI

ABSTRAK.....	i
Abstrack.....	iii
KATA PENGANTAR.....	v
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR GAMBAR.....	xi
DAFTAR TABEL.....	xv
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Perumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Perencanaan	3
1.4 Batasan Masalah.....	3
1.5 Manfaat Perencanaan.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Umum	5
2.2 Struktur Komposit.....	6
a. Balok Komposit.....	6
• Tipe Balok Komposit.....	6
b. Kolom Komposit.....	7
• Tipe Kolom Komposit.....	7
2.3 Aksi Komposit	9
2.4 Dek Baja Gelombang.....	10
2.5 Penghubung Geser.....	11
2.6 Struktur Basement.....	11
BAB III METODOLOGI.....	13
3.1 Umum.....	13
3.2 Diagram Perencanaan.....	13
3.3 Pengumpulan Data.....	14
3.3.1 Data Umum Bangunan.....	14
3.3.2 Data Modifikasi.....	14
3.4 Preliminary Design.....	15
3.4.1 Perencanaan Struktur Sekunder	15
3.4.2 Perencanaan Struktur Primer.....	15
3.5 Pembebanan.....	15

3.5.1	Beban mati (PPIUG 1983 Bab 1 pasal 1.1).....	15
3.5.2	Beban hidup (PPIUG 1983 Bab 1 pasal 1.2).....	15
3.5.3	Beban angin (SNI 1727:2013 Pasal 26-31).....	16
3.5.4	Beban gempa (SNI 1726:2012)	16
3.6	Pemodelan dan Analisa Struktur	23
3.7	Perencanaan Sambungan.....	24
3.8	Struktur Bawah	25
3.8.1	Pondasi	26
3.8.1.1	Daya Dukung Tiang Tunggal.....	26
3.8.1.2	Daya Dukung Tiang Kelompok	26
3.8.2	Perencanaan Poer.....	27
3.8.2.1	Kontrol Geser Pons.....	27
3.8.2.2	Penulangan Poer.....	27
3.9	Kontrol Design	28
3.10	Penggambaran Output Design.....	28
BAB VI HASIL DAN PEMBAHASAN.....		29
4.1	Perencanaan Struktur Lantai.....	29
4.1.1	Pelat Atap.....	29
4.1.2	Pelat Lantai 1-12 Tipikal.....	31
4.2	Perencanaan Tangga.....	32
4.2.1	Tangga Lantai 1-12 Tipikal.....	32
4.2.2	Perencanaan Pelat Anak Tangga	33
4.2.3	Perencanaan Penyangga Pelat Injak.....	35
4.2.4	Perencanaan Pelat Bordes.....	38
4.2.5	Perencanaan Balok Pembagi Bordes.....	41
4.2.6	Perencanaan Balok Tangga.....	45
4.3	Perencanaan Balok Anak.....	53
4.3.1	Perencanaan Balok Anak Lantai Atap (BA1).....	53
4.3.2	Perencanaan Penghubung Geser	61
4.3.3	Perencanaan Balok Anak Lantai Atap (BA2).....	61
4.3.4	Perencanaan Penghubung Geser	68
4.3.5	Perencanaan Balok Anak Lantai Atap (BA3).....	69
4.3.6	Perencanaan Penghubung Geser	76
4.3.7	Perencanaan Balok Anak Lantai 1-12 Tipikal (BA4)	77

4.3.8	Perencanaan Penghubung Geser	84
4.3.9	Perencanaan Balok Anak Lantai 1-12 Tipikal (BA5)	85
4.3.10	Perencanaan Penghubung Geser	92
4.3.11	Perencanaan Balok Anak Lantai 1-12 (BA6).....	93
4.3.12	Perencanaan Penghubung Geser	100
4.4	Perencanaan Struktur Balok Lift	101
4.4.1	Perencanaan Balok Penggantung Lift.....	101
4.5	Pemodelan dan Analisa Struktur	107
4.5.1	Penjelasan Umum.....	107
4.5.2	Pemodelan Struktur.....	107
4.5.3	Data Gedung.....	108
4.5.4	Pembebanan Grafitasi.....	109
4.5.5	Pembebanan Gempa Dinamis.....	110
4.5.6	Faktor Keutamaan Gempa.....	110
4.5.7	Kontrol Desain	118
4.5.7.1	Kontrol Partisipasi Massa.....	119
4.5.8	Kontrol Waktu Getar Alami Fundamental.....	120
4.5.9	Kontrol Nilai Akhir Respon Spektrum.....	121
4.5.10	Kontrol Nilai Akhir Respons Spektrum	124
4.6	Perencanaan Balok Induk.....	126
4.6.1	Perencanaan Balok Induk Memanjang (BI1).....	126
4.6.2	Perencanaan Penghubung Geser	133
4.6.3	Perencanaan Balok Induk Melintang (BI2).....	134
4.6.4	Perencanaan Penghubung Geser	141
4.7	Perencanaan Kolom Komposit (K1).....	142
4.8	Perencanaan Sambungan.....	147
4.8.1	Sambungan Balok Anak dengan Balok Induk.....	147
4.8.2	Sambungan Balok Induk dengan Kolom	149
4.8.3	Sambungan Antar Kolom.....	156
4.8.4	Sambungan Kolom dengan Base Plate.....	163
4.9	Perencanaan Struktur Bawah.....	169
4.9.1	Umum.....	169
4.9.2	Data Tanah.....	169
4.9.3	Perencanaan Pondasi.....	169

4.9.4	Daya Dukung Tanah.....	170
4.9.4.1	Daya Dukung Tanah Tiang Tunggal.....	170
4.9.4.2	Daya Dukung Tanah Tiang Pancang Kelompok	172
4.9.4.3	Beban Maksimum Diatas Tiang Kelompok.....	172
4.9.5	Perhitungan Pondasi Kolom.....	173
4.9.5.1	Daya Dukung Satu Tiang Pancang.....	173
4.9.5.2	Daya Dukung Tiang Pancang Kelompok.....	174
4.9.5.2.1	Perhitungan Beban Diatas Tiang Kelompok.....	174
4.10	Perencanaan Poer (Pile Cap).....	178
4.10.1	Kontrol Geser Pons Pada Poer.....	178
4.10.2	Penulangan Poer (Pile Cap).....	179
4.11	Perencanaan Sloof (Tie Beam).....	186
4.12	Perencanaan Kolom Pedestal.....	190
4.13	Perencanaan Dinding Penahan Tanah (Basement)	193
4.14.1	Umum.....	193
4.14.2	Data Tanah.....	193
4.14.3	Gaya yang Bekerja Pada Dinding.....	194
4.14.4	Spesifikasi Dinding yang digunakan.....	197
BAB V KESIMPULAN.....		199
5.1	Kesimpulan.....	199
5.2	Saran.....	201
DAFTAR PUSTAKA.....		203
BIODATA PENULIS.....		205

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Balok baja yang diselubungi beton (Setiawan, 2008).....	6
Gambar 2. 2 Balok baja tanpa diselubungi beton (Setiawan, 2008).....	6
Gambar 2. 3 Balok komposit dengan deck (Setiawan, 2008).....	7
Gambar 2. 4 Balok komposit tanpa menggunakan deck (Setiawan, 2008).....	7
Gambar 2. 5 Profil baja berselubung beton dan profil baja king cross (Salmon dan Johnson, 1991).....	8
Gambar 2. 6 Profil baja berintikan beton (Salmon dan Johnson, 1991).....	8
Gambar 2. 7 (a) Balok tak komposit yang melendut, (b) Balok komposit yang melendut.....	10
Gambar 2. 8 Tegangan yang terjadi pada basement (Das, 1983).....	12
Gambar 3. 1 Diagram Alir Pengerjaan Tugas Akhir.....	14
Gambar 3. 2 Koefisien resiko terpetakan, perioda respons spektral 0.2 detik.....	20
Gambar 3. 3 Koefisien resiko terpetakan, perioda respons spektral 1 detik.....	20
Gambar 3. 4 Spektrum Reapon Desain.....	21
Gambar 4. 1 Pelat Atap (Lantai 13).....	29
Gambar 4. 2 Penulangan Pelat Atap (Lantai 13).....	30
Gambar 4. 3 Pelat Lantai 1-12 Tipikal.....	31
Gambar 4. 4 Penulangan Pelat Lantai 1-12 Tipikal.....	32
Gambar 4. 5 Tangga Lantai 1-13 Tipikal.....	33
Gambar 4. 6 Denah Tangga Lantai 1-13 Tipikal.....	38
Gambar 4. 7 Denah Balok Pembagi A.....	42
Gambar 4. 8 Denah Balok Pembagi B.....	44

Gambar 4. 9 Perletakan dan Beban Tangga.....	48
Gambar 4. 10 Diagram Bidang M (Output SAP 2000).....	48
Gambar 4. 11 Diagram Bidang D (Output SAP 2000).....	48
Gambar 4. 12 Denah Balok Tumpuan Tangga.....	51
Gambar 4. 13 Denah Balok Anak Atap (BA1).....	54
Gambar 4. 14 Gaya yang bekerja pada balok anak komposit.....	58
Gambar 4. 15 Denah Balok Anak Atap (BA2).....	62
Gambar 4. 16 Gaya yang bekerja pada balok anak komposit.....	66
Gambar 4. 17 Denah Balok Anak Atap (BA3).....	70
Gambar 4. 18 Gaya yang bekerja pada balok anak komposit.....	74
Gambar 4. 19 Balok Anak Lantai 1-12 Tipikal (BA4).....	78
Gambar 4. 20 Gaya yang bekerja pada balok anak komposit.....	82
Gambar 4. 21 Denah Balok Anak Lantai 1-12 Tipikal (BA5).....	86
Gambar 4. 22 Denah Balok Anak Lantai 1-12 (BA6).....	93
Gambar 4. 23 Gaya yang bekerja pada balok anak komposit.....	97
Gambar 4. 24 Denah Lift.....	102
Gambar 4. 25 Potongan Melintang Lift.....	102
Gambar 4. 26 Denah Struktur Apartemen Pavilion Permata.....	108
Gambar 4. 27 Peta untuk menentukan periode pendek 0.2 detik (S_a).....	111
Gambar 4. 28 Peta untuk menentukan periode 1 detik (S_1).....	112
Gambar 4. 29 Grafik Spektral Percepatan Gempa Wilayah Surabaya.....	117

Gambar 4. 30 Denah Balok Induk Memanjang Lantai 1-13 Tipikal (BI2).....	127
Gambar 4. 31 Gaya yang bekerja pada penampang balok komposit.....	130
Gambar 4. 32 Denah Balok Induk Melintang Lantai 1-13 Tipikal (BI2).....	135
Gambar 4. 33 Gaya yang bekerja pada penampang balok komposit.....	138
Gambar 4. 34 Penampang Kolom Komposit (K1).....	143
Gambar 4. 35 Sambungan balok anak dan balok induk....	147
Gambar 4. 36 Sambungan balok induk dengan kolom.....	150
Gambar 4. 37 Sambungan antar kolom.....	156
Gambar 4. 38 Sambungan kolom dengan base plate.....	168
Gambar 4. 39 Potongan melintang sambungan kolom dengan base plate.....	168
Gambar 4. 40 Pondasi Tiang Pancang.....	174
Gambar 4. 41 Diagram Gaya Lateral Tiang.....	176
Gambar 4. 42 Analisa Poer sebagai Balok Kantilever.....	180
Gambar 4. 43 Pembebanan Poer Kolom K1.....	180
Gambar 4. 44 Detail Penulangan Poer (Pile Cap).....	186
Gambar 4. 45 Hasil Analisis Sloof 50/70 dengan Program PCA COL.....	188
Gambar 4. 46 Detail Penulangan Sloof (Tie Beam).....	190
Gambar 4. 47 Hasil Analisis Kolom Pedestal Dengan Program PCA. Col.....	191
Gambar 4. 48 Penulangan Kolom Pedestal.....	193
Gambar 4. 49 Diagram Tegangan Tanah.....	194
Gambar 4. 50 Momen di titik A.....	196
Gambar 4. 51 Penampang Sheet Pile Type FRC-320 Class A.....	197

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR TABEL

Tabel 3. 1 Kategori Resiko Bangunan.....	16
Tabel 3. 2 Kelas Situs.....	17
Tabel 3. 3 Tabel Koefisien F_a	19
Tabel 3. 4 Tabel Koefisien F_v	19
Tabel 3. 5 Kategori desain seismik berdasarkan parameter respons percepatan pada periode pendek	22
Tabel 3. 6 Kategori desain seismik berdasarkan parameter respons percepatan pada periode 1 detik	22
Tabel 4. 1 Hasil Perhitungan Manual Beban Mati.....	109
Tabel 4. 2 Koefisien Situs, F_a	112
Tabel 4. 3 Koefisien Situs, F_v	113
Tabel 4. 4 Koefisien Situs, F_a	114
Tabel 4. 5 Koefisien Situs, F_v	114
Tabel 4. 6 Faktor R , C_d , Ω_0 Sistem Penahan Gaya Gempa.....	115
Tabel 4. 7 Parameter Respons Gempa Wilayah Surabaya untuk Kelas Situs SD (Tanah Sedang)	116
Tabel 4. 8 Rasio Partisipasi Massa Apartemen Pavilion Permata.....	119
Tabel 4. 9 Periode dan Frekuensi Struktur.....	121
Tabel 4. 10 Reaksi Dasar Struktur.....	122
Tabel 4. 11 Gaya Geser Akibat Beban Gempa	122
Tabel 4. 12 Gaya Dasar Akibat Gempa Setelah Dikalikan Dengan Faktor Skala.....	123
Tabel 4. 13 Reaksi Dasar Struktur.....	124
Tabel 4. 14 Gaya Geser Akibat Beban Gempa	125
Tabel 4. 15 Gaya Geser Akibat Beban Gempa Setelah Dikalikan Dengan Faktor Skala.....	125
Tabel 4. 16 Momen Pada Dinding Penahan Tanah.....	197

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Masyarakat Indonesia diprediksi akan beralih menggunakan apartemen sebagai alternatif hunian ataupun tempat tinggal. Hal tersebut dikarenakan semakin sempitnya lahan, lokasi yang strategis serta jangkauan yang lebih mudah jika tinggal di apartemen. Khususnya pada wilayah Surabaya Barat, sektor properti terus tumbuh subur dan berpotensi semakin diminati. Kawasan yang dulu dianggap kurang prospektif itu kini menunjukkan eksistensinya seiring dengan maraknya pembangunan infrastruktur di daerah tersebut. Pavilion Permata yang berlokasi di Jl. Mayjen Sungkono merupakan salah satu dari sekian banyak apartemen kelas menengah sebagai hunian vertikal bertingkat tinggi yang saat ini mulai banyak bermunculan di Surabaya. Dengan meningkatnya jumlah peminat tersebut sehingga PT. PP Properti sebagai pemilik gedung (Owner) berencana menambah jumlah lantai untuk bangunan atas. Apartemen ini terdiri dari 13 lantai dan 1 lantai *basement*. Seperti yang kita ketahui bersama untuk membangun suatu gedung bertingkat membutuhkan waktu yang lama dan juga mahal. Dengan adanya teknologi yang ada saat ini pemilik gedung hanya memilih bahan yang mana lebih cepat penyelesaiannya, ekonomis dan kuat untuk struktur utama gedung tersebut karena semakin tinggi gedung semakin lama pengerjaannya dan mahal (*Tedia dan Maru, 2014*).

Salah satu alternatif dari sekian banyak material struktur bangunan adalah baja beton komposit. Penggunaan baja komposit di Indonesia sudah semakin banyak karena adanya kelebihan-kelebihan yang dimiliki struktur baja komposit dibandingkan dengan struktur beton konvensional. Kelebihan-kelebihan yang nyata dari komposit adalah (1) Penghematan baja, (2) penampang balok baj jadi lebih rendah, (3) kekakuan lantai meningkat, (4) Panjang bentang untuk batang tertentu dapat lebih

besar, (5) kapasitas pemikul beban meningkat (*Salmon dan Johnson, 1991*). Ada pun keunggulan lain yang ditinjau dari ketahanan terhadap gempa, yang mana struktur komposit baja-beton berperilaku lebih baik dari pada beton bertulang biasa (*Tedia dan Maru, 2014*).

Struktur komposit merupakan perpaduan antara beton dan baja yang memanfaatkan kelebihan keduanya untuk bekerja sama sebagai satu kesatuan. Struktur komposit dalam aplikasinya dapat merupakan elemen dari bangunan, baik dari sebagai balok, kolom, dan pelat. Struktur balok komposit terdiri dari dua tipe yaitu balok komposit dengan penghubung geser dan balok komposit yang diselubungi beton. Sedangkan kolom komposit dapat merupakan tabung atau pipa baja yang dicor beton atau baja profil yang diselubungi beton dengan tulangan longitudinal dan diikat dengan tulangan lateral. Pada struktur pelat komposit digunakan pelat beton yang bagian bawahnya diperkuat dengan dek baja bergelombang (*Widiarsa dan Deskarta, 2007*).

Dalam laporan tugas akhir ini, struktur gedung Pavilion Permata yang semula terdiri dari 13 lantai dan 1 lantai *basement* yang dibangun dengan menggunakan beton bertulang biasa dimodifikasi menggunakan struktur komposit baja-beton 13 lantai dan 1 lantai *basement*.

1.2 Perumusan Masalah

Permasalahan yang ditinjau dalam modifikasi “ Gedung Apartemen Pavilion Permata Menggunakan Struktur Baja- Beton Komposit”

Antara lain :

1. Bagaimana merencanakan *preliminary design* penampang elemen struktur gedung Apartemen Pavilion Permata?
2. Bagaimana merencanakan struktur sekunder yang meliputi plat, balok anak, balok penggantung lift dan tangga?
3. Bagaimana merencanakan struktur primer komposit yang meliputi balok induk dan kolom pada gedung Apartemen Pavilion Permata?

4. Bagaimana memodelkan dan melakukan analisis struktur dengan program bantu SAP 2000?
5. Bagaimana merencanakan pondasi yang sesuai dengan keadaan tanahnya?
6. Bagaimana merencanakan sambungan yang memenuhi kriteria perancangan struktur yaitu kekuatan, kekakuan dan stabilitas struktur?
7. Bagaimana menggambarkan hasil perhitungan dan perencanaan struktur pada bangunan ini kedalam gambar teknik?

1.3 Tujuan Perencanaan

Adapun tujuan yang ditinjau modifikasi “ Gedung Apartemen Pavilion Permata Menggunakan Struktur Baja- Beton Komposit” Antara lain :

1. Merencanakan *preliminary design* penampang elemen struktur gedung Apartemen Pavilion Permata.
2. Merencanakan struktur sekunder yang meliputi plat, balok anak, balok penggantung lift dan tangga.
3. Merencanakan struktur primer komposit yang meliputi balok induk dan kolom pada gedung Apartemen Pavilion Permata.
4. Memodelkan dan melakukan analisis struktur dengan program bantu SAP 2000.
5. Merencanakan pondasi yang sesuai dengan keadaan tanahnya.
6. Merencanakan sambungan yang memenuhi kriteria perancangan struktur yaitu kekuatan, kekakuan dan stabilitas struktur.
7. menggambarkan hasil perhitungan dan perencanaan struktur pada bangunan ini kedalam gambar teknik.

1.4 Batasan Masalah

Pada perencanaan modifikasi ini penulis membatasi masalah meliputi:

1. Tidak memperhitungkan aspek biaya pada pelaksanaan maupun perhitungan struktur dan tidak membahas metode pelaksanaan.
2. Aspek yang meliputi arsitektur, utilitas, mechanical, instalasi listrik, sanitasi, plumbing, finishing bangunan tidak diperhitungkan dalam perencanaan ini.

1.5 Manfaat Perencanaan

Manfaat yang bisa didapatkan dari modifikasi perencanaan ini adalah:

1. Dapat merencanakan struktur baja komposit yang memenuhi keamanan struktur.
2. Dari perencanaan ini dapat diketahui hal hal yang harus diperhatikan pada saat perencanaan struktur bangunan baja komposit sehingga kegagalan struktur bisa dihindari

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Umum

Struktur komposit antara beton dan balok baja merupakan struktur yang memanfaatkan kelebihan dari beton dan baja yang bersama-sama sebagai satu kesatuan. Kelebihan tersebut adalah beton kuat terhadap tekan dan baja kuat terhadap tarik. Balok baja yang menumpu plat beton yang dicor di tempat, sebelumnya didesain berdasarkan asumsi bahwa pelat beton dan baja yang bekerja secara terpisah. Pengaruh komposit dari pelat beton dan baja yang bekerja bersama-sama tidak diperhitungkan. Pengabaian ini berdasarkan asumsi bahwa ikatan antara pelat beton dengan bagian atas balok baja tidak dapat diandalkan. Namun dengan kemajuan penggunaan las, penggunaan penyambung geser mekanis menjadi praktis untuk menahan gaya geser horizontal (*Widiarsa dan Deskarta, 2007*).

Struktur komposit dalam aplikasinya dapat merupakan elemen dari bangunan, baik sebagai balok, kolom, pelat. Struktur balok komposit terdiri dari dua tipe yaitu balok komposit yang diselubungi beton. Kolom komposit dapat merupakan tabung atau pipa baja yang di cor beton atau bajaprofil yang diselubungi beton dengan tulangan longitudinal dan diikat dengan tulangan lateral. Pada struktur pelat komposit digunakan pelat beton yang bagian bawahnya diperkuat dengan dek baja bergelombang (*Widiarsa dan Deskarta, 2007*).

Karena Struktur komposit melibatkan dua macam material yang berbeda, maka perhitungan kapasitasnya tidak sesederhana bila struktur bukan komposit. Karakteristik dan dimensi kedua bahan akan menentukan pemilihan jenis profil dan pelat beton yang akan dikomposisikan dan bagaimana kinerja struktur tersebut (*Suprobo, 2000*).

2.2 Struktur Komposit

Batang komposit adalah batang yang terdiri dari profil baja dan beton yang digabung bersama untuk memikul beban tekan dan atau lentur umumnya disebut dengan balok komposit. Sedangkan batang yang memikul beban tekan umumnya disebut dengan kolom komposit.

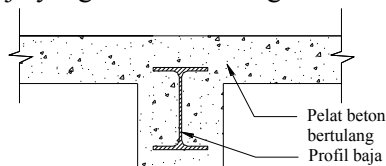
a. Balok Komposit

Balok adalah salah satu diantara elemen-elemen struktur yang paling banyak dijumpai pada setiap struktur. Balok adalah elemen struktur yang memikul beban yang bekerja tegak lurus dengan sumbu longitudinalnya (*Spiegel dan Limbrunner, 1998*).

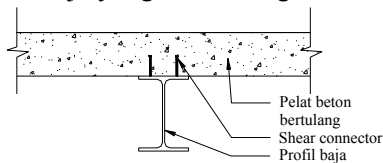
• Tipe Balok Komposit

Ada dua tipe dari balok komposit, antara lain:

- a. Balok komposit dengan penghubung geser
- b. Balok baja yang diberi selubung beton



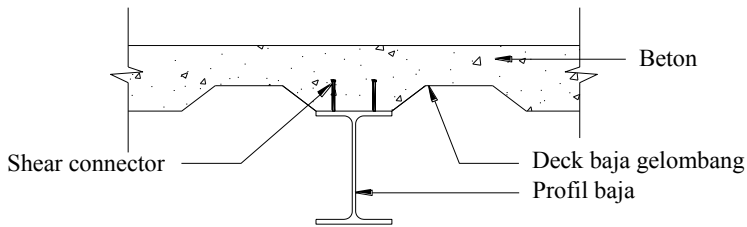
Gambar 2. 1 Balok baja yang diselubungi beton (*Setiawan, 2008*)



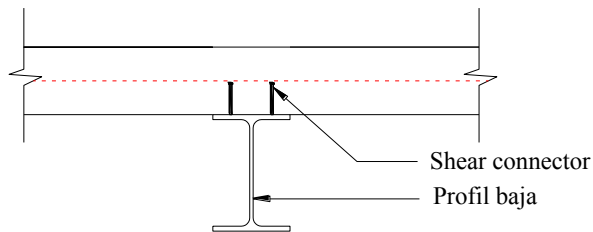
Gambar 2. 2 Balok baja tanpa diselubungi beton (*Setiawan, 2008*)

Balok komposit dengan penghubung geser dibagi menjadi dua macam, yaitu:

- a. Balok komposit tanpa deck
- b. Balok komposit dengan deck



Gambar 2. 3 Balok komposit dengan deck (Setiawan, 2008)



Gambar 2. 4 Balok komposit tanpa menggunakan deck (Setiawan, 2008)

Keuntungan yang didapatkan dengan menggunakan balok komposit yaitu penghematan berat baja, penampang balok baja dapat lebih rendah, kekakuan lantai meningkat, panjang bentang untuk batang tertentu dapat lebih besar, kapasitas pemikul beban meningkat. Penghematan berat baja sebesar 20% sampai 30% seringkali dapat diperoleh dengan memanfaatkan semua keuntungan dari sistem komposit. Pengurangan berat pada balok baja ini biasanya memungkinkan pemakaian penampang yang lebih rendah dan juga lebih ringan. Keuntungan ini bisa banyak mengurangi tinggi bangunan bertingkat banyak sehingga diperoleh penghematan bahan bangunan yang lain seperti dinding luar dan tangga (Salmon dan Johnson, 1991).

Dalam perencanaan tugas akhir Apartemen Pavilion Permata ini digunakan balok komposit dengan penghubung geser.

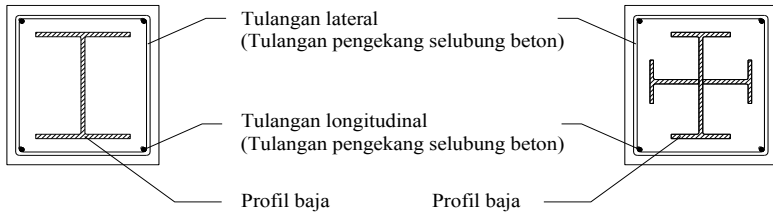
b. Kolom Komposit

• Tipe Kolom Komposit

Ada 2 tipe kolom komposit, yaitu:

a. Kolom baja berselubung beton

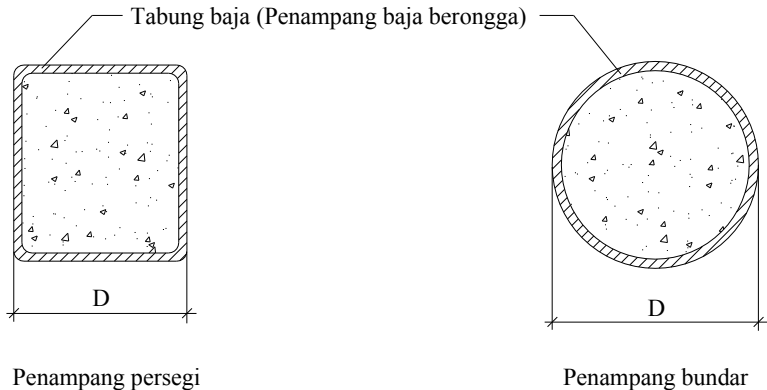
Kolom baja berselubung beton adalah kolom komposit terbuat dari profil baja yang diberi selubung beton disekelilingnya.



Gambar 2. 5 Profil baja berselubung beton dan profil baja king cross (*Salmon dan Johnson, 1991*)

b. Kolom baja berintikan beton

Kolom baja berintikan beton adalah kolom komposit yang terdiri dari penampang baja berongga yang berisi beton.



Gambar 2. 6 Profil baja berintikan beton (*Salmon dan Johnson, 1991*)

Pada kolom baja berselubung beton, penambahan beton dapat menunda terjadinya kegagalan *lokal buckling* pada profil baja, ketahanan terhadap api dan korosi yang lebih baik dibandingkan kolom baja biasa, kemampuan kolom komposit memikul beban aksial dan lentur lebih besar dibandingkan kolom beton bertulang, sementara itu material baja disini berfungsi sebagai penahan beban yang terjadi setelah beton gagal.

Keuntungan diatas didapat karena terlindungnya profil baja oleh beton bertulang yang menyelimutinya. Sedangkan untuk kolom baja berintikan beton, kehadiran baja dapat meningkatkan kekuatan dari beton serta beton dapat menghalangi terjadinya *lokal buckling* pada baja (L, 2005).

Kolom komposit merupakan suatu solusi hemat untuk kasus dimana kapasitas beban tambahan yang diinginkan lebih besar dibandingkan dengan penggunaan kolom baja sendiri. Kolom komposit juga menjadi solusi yang efektif untuk berbagai permasalahan yang ada pada desain praktis. Salah satunya, yaitu jika beban yang terjadi pada struktur kolom sangatlah besar, maka penambahan material beton pada struktur kolom dapat memikul beban yang terjadi, sehingga ukuran profil baja tidak perlu diperbesar lagi (Leon dan Griffis, 2005).

Dalam perencanaan tugas akhir Apartemen Pavilion Permata, digunakan profil baja kingcross sebagai kolom.

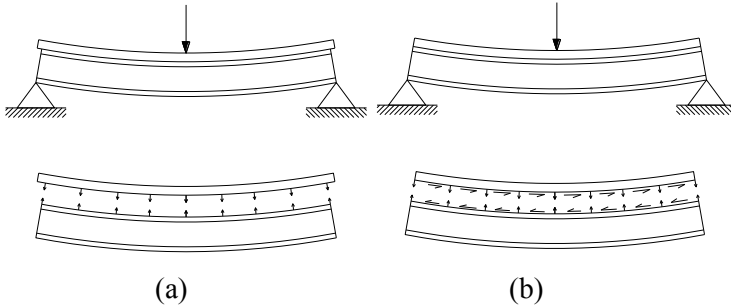
2.3 Aksi Komposit

Aksi komposit terjadi apabila dua batang struktural pemikul beban seperti pada pelat beton dan balok baja sebagai penyangganya dihubungkan secara menyeluruh dan mengalami defleksi sebagai satu kesatuan. Berikut ini adalah perbedaan antara balok komposit dan non-komposit saat melendut (Salmon & Johnson, 1997).

1. Balok non-komposit

Pada balok non-komposit, pelat beton dan balok baja tidak bekerja bersama-sama sebagai satu kesatuan karena tidak terpasang alat penghubung geser, sehingga masing-masing memikul beban secara terpisah. Apabila balok komposit mengalami defleksi pada saat dibebani, maka permukaan bawah pelat beton akan tertarik dan mengalami perpanjangan sedangkan permukaan atas dari balok baja akan tertekan dan mengalami perpendekan. Karena penghubung geser tidak terpasang pada bidang pertemuan antara pelat beton dan balok baja maka pada bidang kontak tersebut tidak ada gaya yang menahan

perpanjangan serat bawah pelat dan perpendekan serat atas balok baja. Dalam hal ini, pada bidang kontak tersebut hanya bekerja gaya geser vertikal.



Gambar 2. 7 (a) Balok tak komposit yang melendut, (b) Balok komposit yang melendut

2. Balok komposit

Pada balok komposit, pada bidang pertemuan antara pelat beton dan balok baja dipasang alat penghubung geser sehingga pelat beton dan balok baja bekerja sebagai satu kesatuan. Pada bidang kontak tersebut bekerja gaya geser vertikal dan horizontal, dimana gaya geser horizontal tersebut akan menahan perpanjangan serat bawah pelat dan perpendekan serat atas balok baja.

Pada dasarnya aksi komposit pada balok komposit dapat tercapai atau tidaknya tergantung dari penghubung gesernya. Biasanya penghubung geser diletakkan diatas sayap profil baja. Hal ini bertujuan untuk mengurangi terjadinya slip pada pelat beton dengan balok baja (*Liang, 2004*).

2.4 Dek Baja Gelombang

Perkembangan struktur komposit dimulai dengan digunakannya dek baja gelombang, yang selain berfungsi sebagai bekisting saat pelat beton dicetak, juga berfungsi sebagai tulangan positif bagi pelat beton. Penggunaan dek baja juga dapat

dipertimbangkan sebagai dukungan dalam arah lateral dari balok sebelum beton mulai mengeras.

Persyaratan dek baja gelombang dan penghubung gesernya untuk digunakan dalam komponen struktur komposit diatur dalam SNI 1729:2015 pasal I3.2c. Dalam pasal ini disyaratkan:

1. Tinggi maksimum dek baja, $h_i < 75$ mm.
2. Lebar rata-rata minimum dari gelombang dek, $w < 50$ mm, lebar ini tidak boleh lebih besar dari lebar bersih minimum pada tepi atas dek baja.
3. Diameter maksimum stud yang dipakai = 19 mm, dan dilas langsung pada flens balok baja.
4. Tinggi minimum stud diukur dari sisi dek baja paling atas = 38 mm.
5. Tebal pelat minimum diukur dari tepi atas dek baja = 50 mm.

2.5 Penghubung Geser

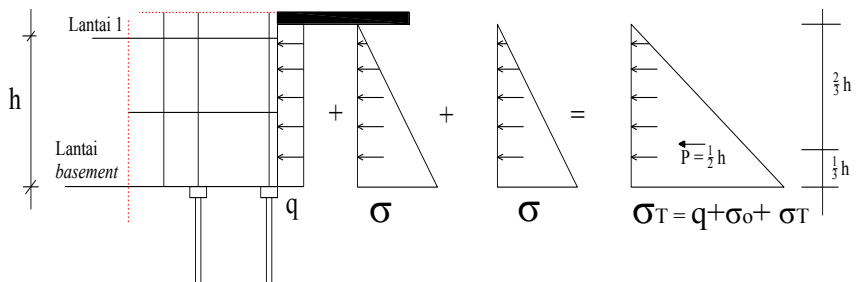
Agar tidak slip pada saat masa layan, gaya geser yang terjadi antara pelat beton dan profil baja harus dipikul oleh sejumlah penghubung geser. Besarnya gaya geser horizontal yang harus dipikul oleh penghubung geser diatur dalam SNI 1729:2015

1. Selimut arah lateral minimum = 25 mm, kecuali ada dek baja.
2. Diameter maksimum = $2,5 \times$ tebal flens profil baja.
3. Jarak longitudinal minimum = $6 \times$ diameter penghubung geser.
4. Jarak minimum dalam arah tegak lurus sumbu longitudinal = $4 \times$ diameter.
5. Jarak longitudinal maksimum = $8 \times$ tebal pelat beton.

6. Jika digunakan dek baja gelombang, jarak minimum penghubung geser dapat diperkecil menjadi 4 x diameter.

2.6 Struktur Basement

Perencanaan dinding *basement* dapat juga difungsikan sebagai dinding penahan tanah. Karena *basement* mengalami tegangan tanah, tegangan akitat air tanah arah horizontal dan akibat kendaraan.



Gambar 2. 8 Tegangan yang terjadi pada basement (Das, 1983)

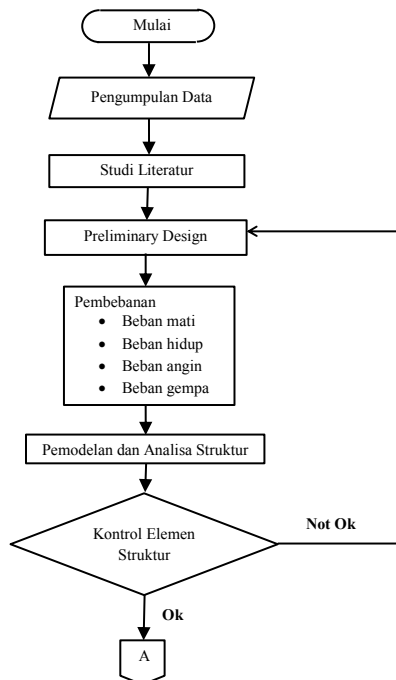
BAB III METODOLOGI

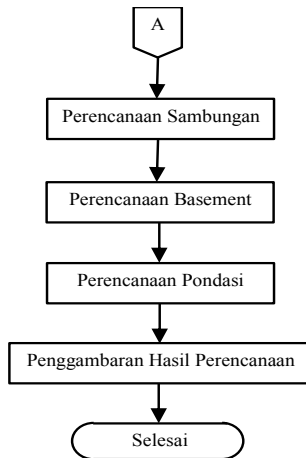
3.1 Umum

Metodologi ini menguraikan dan menjelaskan urutan pelaksanaan penyelesaian tugas akhir. Mulai dari pengumpulan data, literatur, preliminary design, analisa elemen (primer dan sekunder), analisa beban (grafitasi, angin, gempa), dan pedoman perencanaan, sampai dengan kesimpulan akhir dari analisa struktur ini yaitu untuk mendapatkan perencanaan gedung.

3.2 Diagram Perencanaan

Adapun langkah-langkah dalam penyelesaian perencanaan struktur ini dituangkan dalam diagram alir perencanaan tugas akhir Gambar 3.1.





Gambar 3. 1 Diagram Alir Pengerjaan Tugas Akhir

3.3 Pengumpulan Data

Mencari data umum bangunan dan data tanah gedung Pavilion Permata Surabaya.

3.3.1 Data Umum Bangunan

Nama Gedung	: Pavilion Permata Surabaya
Lokasi	: Surabaya Jawa Timur
Fungsi	: Apartemen
Jumlah Lantai	: 13 lantai 1 basement
Tinggi gedung	: 40.5 m
Material Struktur	: Beton Bertulang
Kelas Situs	: Terlampir

3.3.2 Data Modifikasi

Adapun Tugas Akhir ini akan dimodifikasi menggunakan material baja dengan data-data sebagai berikut:

Nama Gedung	: Pavilion Permata Surabaya
Lokasi	: Surabaya Jawa Timur
Fungsi	: Apartemen
Jumlah Lantai	: 13 lantai 1 basement
Material Struktur	: Baja-Beton Komposit

Mutu Baja	: BJ 41
Mutu Beton	: f'_c 30 MPa
Bondek	: 0.75 mm
Kelas Situs	: Terlampir

3.4 Preliminary Design

Melakukan perkiraan dimensi awal dari elemen-elemenstruktur, penentuan mutu bahan dan material struktur dan merencanakan dimensi profil yang akan digunakan.

3.4.1 Perencanaan Struktur Sekunder

Melakukan perkiraan dimensi awal dari elemen struktur, penentuan mutu bahan dan material struktur dan merencanakan dimensi profil yang akan digunakan yang meliputi :

- 1) plat lantai
- 2) tangga
- 3) balok penumpu lift

3.4.2 Perencanaan Struktur Primer

Melakukan perkiraan dimensi awal dari elemen struktur, penentuan mutu bahan dan material struktur dan merencanakan dimensi profil yang akan digunakan yang meliputi :

- 1) Dimensi kolom
- 2) Dimensi balok

3.5 Pembebanan

Perencanaan pembebanan pada struktur ini berdasarkan pada Peraturan Pembebanan Indonesia Untuk Gedung (PPIUG 1983) dan SNI 1726:2002. Pembebanan tersebut antara lain.

3.5.1 Beban mati (PPIUG 1983 Bab 1 pasal 1.1)

Beban mati ialah berat dari semua bagian dari suatu yang bersifat tetap termasuk segala unsur tambahan, penyelesaian–penyelesaian, mesin – mesin serta peralatan tetrap yang menjadi bagian yang tak terpisahkan dari gedung itu.

3.5.2 Beban hidup (PPIUG 1983 Bab 1 pasal 1.2)

Beban hidup adalah semua beban yang terjadi akibat penghunian atau penggunaan suatu gedung, dan ke dalamnya

termasuk beban-beban pada lantai yang berasal dari barang – barang yang dapat berpindah, mesin – mesin serta peralatan yang tidak merupakan bagian yang tak terpisahkan dari gedung dan dapat diganti selama masa hidup dari gedung itu, sehingga mengakibatkan perubahan dalam pembebanan lantai dan atap tersebut.

3.5.3 Beban angin (SNI 1727:2013 Pasal 26-31)

Bangunan gedung dan struktur lain, termasuk Sistem Penahan Beban Angin Utama (SPBAU) dan seluruh komponen dan klading gedung, harus dirancang dan dilaksanakan untuk menahan beban angina seperti yang ditetapkan menurut Pasal 26 sampai Pasal 31. Ketentuan dalam pasal ini mendefinisikan parameter angina dasar untuk digunakan dengan ketentuan lainnya yang terdapat dalam standar ini.

3.5.4 Beban gempa (SNI 1726:2012)

Untuk peraturan gempa mengacu pada SNI 1726:2012. Berikut parameter-parameter yang perlu diperhatikan.

1. Mengklasifikasi Kategori Resiko Struktur Bangunan

Pengklasifikasian berdasarkan Kategori Resiko Bangunan (KRB) dapat dilihat pada tabel 3.1 berikut.

Tabel 3. 1 Kategori Resiko Bangunan

Kategori Resiko	Deskripsi	Faktor Keutamaan (I)
IV	Fasilitas Penting (Rumah sakit, kantor polisi dan pemadam kebakaran, emergency shelters, dll) Bangunan yang mengandung bahan yang sangat beracun.	1.5
III	Bangunan yang memiliki resiko tinggi terhadap jiwa manusia	1.25

	pada saat terjadi kegagalan (gedung dengan >300 orang, fasilitas day care dengan kapasitas >150 orang, sekolah dengan kapasitas >250 orang, dll)	
II	Bangunan lainnya yang memiliki resiko rendah terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan (fasilitas pertanian, gudang sementara)	1.0
I	Gedung dan struktur lainnya yang memiliki resiko rendah terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan (fasilitas pertanian, gudan, sementara)	1.0

(Sumber: SNI 1726:2012)

2. Definisi Kelas Situs

Kelas situs ditetapkan sesuai SNI 1726:2012 tertulis pada berikut.

Tabel 3. 2 Kelas Situs

Kelas situs	\bar{V}_z (m/detik)	\bar{N} atau \bar{N}_{eq}	\bar{s}_u (kPa)
SA (batuan keras)	> 1500	N/A	N/A
SB (batuan)	750 sampai 1500	N/A	N/A
SC (tanah keras, sangat padat dan batuan lunak)	350 sampai 750	>50	≥ 100
SD (tanah sedang)	175 sampai 350	15 sampai 50	50 sampai 100
SE (tanah lunak)	< 175	<15	< 50
	Atau setiap profil tanah yang mengandung lebih dari 3 m tanah dengan karakteristik sebagai berikut : 1. Indeks plastisitas, $PI > 20$, 2. Kadar air, $w \geq 40$ persen, dan Kuat geser niralir $\bar{s}_u < 25$ kPa		
SF (tanah khusus, yang membutuhkan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons spesifik-situs yang mengikuti Pasal 6.9.1)	Setiap profil lapisan tanah yang memiliki salah satu atau lebih dari karakteristik berikut: - Rawan dan berpotensi gagal atau runtuh akibat beban gempa seperti mudah likuifaksi, lempung sangat sensitif, tanah tersementasi lemah - Lempung sangat organik dan/atau gambut (ketebalan $H > 3$ m) - Lempung berplastisitas sangat tinggi (ketebalan $H > 7,5$ m dengan Indeks Plastisitas $PI > 75$) Lapisan lempung lunak/setengah tegu dengan ketebalan $H > 35$ m dengan $s_u < 50$ kPa		

Catatan: N/A = tidak dapat dipakai

(Sumber: SNI 1726:2012)

Dengan data SPT test maka persamaan yang digunakan untuk menentukan jenis tanah adalah sebagai berikut:

$$\bar{N} = \frac{\sum_{i=1}^n di}{\sum_{i=1}^n \frac{di}{N_i}} \quad (3.1)$$

Dimana :

Di = Kedalaman lapisan tanah uji

N_i = Nilai SPT

$\sum_{i=1}^n di = 30$ meter atau lebih

3. Koefisien Situs dan Parameter Respon Spektra

Koefisien-koefisien situs dan parameter-parameter respons spektral percepatan gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko-tertarget (MCE_R).

Untuk penentuan respon spektral percepatan gempa MCE_R di permukaan tanah diperlukan faktor amplifikasi seismik pada periode 0.2 detik (F_a) untuk periode pendek dan periode 1 detik (F_v). Penentuan parameter spektrum respons percepatan ditulis pada persamaan berikut:

$$S_{MS} = F_a S_s \quad (3.2)$$

$$S_{M1} = F_v S_1 \quad (3.3)$$

Dimana:

S_{MS} = parameter respon percepatan pada perioda pendek

S_{M1} = parameter respon percepatan pada perioda 1 detik

S_s = parameter respons spektral percepatan gempa MCE_R terpetakan untuk perioda pendek

S_1 = parameter respons spektral percepatan gempa MCE_R terpetakan untuk perioda 1,0 detik

Koefisien situs F_a dan F_v dapat diperoleh dari Tabel 3.3 dan Tabel 3.4.

Tabel 3. 3 Tabel Koefisien F_a

Kelas situs	Parameter respons spektral percepatan gempa MCE_R terpetakan pada perioda pendek, $T=0,2$ detik, S_s				
	$S_s \leq 0,25$	$S_s = 0,5$	$S_s = 0,75$	$S_s = 1$	$S_s \geq 1,25$
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
SC	1,2	1,2	1,1	1,0	1,0
SD	1,6	1,4	1,2	1,1	1,0
SE	2,5	1,7	1,2	0,9	0,9
SF	SS ^b				

CATATAN :

(a) Untuk nilai-nilai antara S_s dapat dilakukan interpolasi linier

(b) SS= Situs yang memerlukan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons situs-spesifik, lihat Pasal 6.9.1

(Sumber: SNI 1726:2012)

Tabel 3. 4 Tabel Koefisien F_v

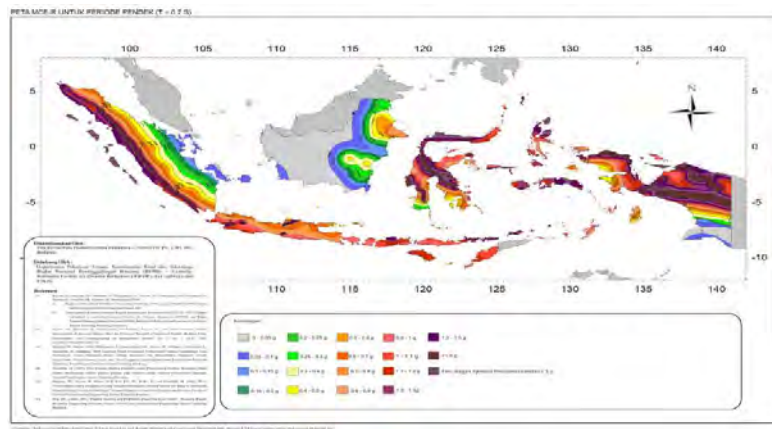
Kelas situs	Parameter respons spektral percepatan gempa MCE_R terpetakan pada perioda 1 detik, S_1				
	$S_1 \leq 0,1$	$S_1 = 0,2$	$S_1 = 0,3$	$S_1 = 0,4$	$S_1 \geq 0,5$
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
SC	1,7	1,6	1,5	1,4	1,3
SD	2,4	2	1,8	1,6	1,5
SE	3,5	3,2	2,8	2,4	2,4
SF	SS ^b				

CATATAN :

(a) Untuk nilai-nilai antara S_1 dapat dilakukan interpolasi linier

(b) SS= Situs yang memerlukan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons situs-spesifik, lihat Pasal 6.9.1

(Sumber: SNI 1726:2012)

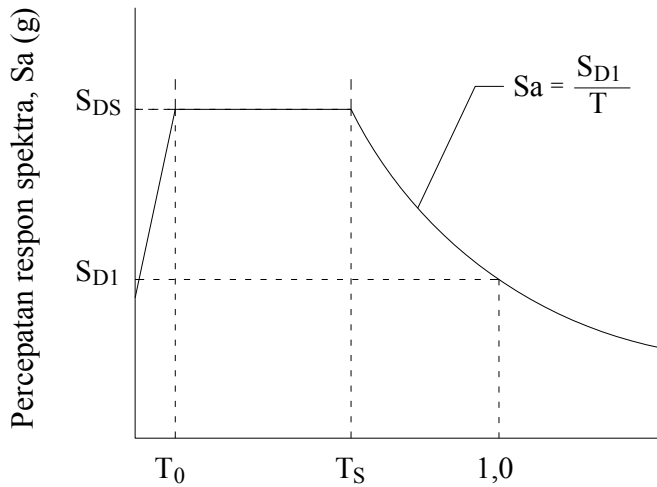


$$S_{DS} = \frac{2}{3} S_{MS} \quad (3.4)$$

$$S_{D1} = \frac{2}{3} S_{M1} \quad (3.5)$$

5. Respon Spektrum Desain

Bila spektrum respons desain diperlukan oleh tata cara ini dan prosedur gerak tanah dari spesifik-situs tidak digunakan, maka kurva spektrum respons desain harus dikembangkan dengan mengacu dengan ketentuan:



Gambar 3. 4 Spektrum Reapon Desain

$$T_0 = 0.2 \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \quad (3.6)$$

$$T_S = \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \quad (3.7)$$

Untuk $T < T_0$

$$S_a = S_{DS} \left(0.4 + 0.6 \frac{T}{T_0} \right) \quad (3.8)$$

Untuk $T_0 \leq T \leq T_S$

$$S_a = S_{DS} \quad (3.9)$$

Untuk $T > T_s$

$$S_a = \frac{S_{D1}}{T} \quad (3.10)$$

Dimana:

S_a = spektrum respon percepatan desain

S_{DS} = parameter respons spektral percepatan desain pada perioda pendek;

S_{D1} = parameter respons spektral percepatan desain pada perioda 1 detik;

T = perioda getar fundamental struktur.

6. Kategori Desain Seismik

Kategori Desain Seismik dievaluasi berdasarkan Tabel 3.5 untuk nilai S_{DS} dan Tabel 3.6 untuk nilai S_{D1} kemudian diambil yang paling berat dari kedua tabel tersebut.

Tabel 3. 5 Kategori desain seismik berdasarkan parameter respons percepatan pada perioda pendek

Nilai S_{DS}	Kategori risiko	
	I atau II atau III	IV
$S_{DS} < 0,167$	A	A
$0,167 \leq S_{DS} < 0,33$	B	C
$0,33 \leq S_{DS} < 0,50$	C	D
$0,50 \leq S_{DS}$	D	D

(Sumber: SNI 1726:2012)

Tabel 3. 6 Kategori desain seismik berdasarkan parameter respons percepatan pada perioda 1 detik

Nilai S_{D1}	Kategori risiko	
	I atau II atau III	IV
$S_{D1} < 0,067$	A	A
$0,067 \leq S_{D1} < 0,133$	B	C
$0,133 \leq S_{D1} < 0,20$	C	D
$0,20 \leq S_{D1}$	D	D

(Sumber: SNI 1726:2012)

7. Kombinasi Pembebanan

Berdasarkan beban-beban tersebut di atas maka struktur baja harus mampu memikul semua kombinasi pembebanan sesuai dengan SNI 1729:2002 pasal 6.2.2, yaitu:

$$1,4 D$$

$$1.2 D + 1.6 L + 0.5 (L_0 \text{ atau } H)$$

$$1.2 D + 1.6(L_0 \text{ atau } H) + 1.6 W + 0.5 (\gamma_L L \text{ atau } 0.8 W)$$

$$1.2 D + 1.3 W + \gamma_L L + 0.5 (L_0 \text{ atau } H)$$

$$1.2 D \pm 1.0 E + \gamma_L L$$

$$0.9 D \pm (1.3 W \text{ atau } 1.0 E)$$

Dimana :

D = Beban mati

L = Beban hidup

L_0 = Beban hidup atap

H = Beban hujan

W = Beban angin

E = Pengaruh beban gempa

Dengan, $\gamma_L = 0.5$ bila $L < 5$ Kpa dan $\gamma_L = 1$ bila $L \geq 5$ Kpa

3.6 Pemodelan dan Analisa Struktur

Melakukan permodelan struktur menggunakan program SAP 2000 yang direncanakan sebagai struktur ruang 3 dimensi untuk mendapatkan reaksi dan gaya dalam yang terdapat pada struktur rangka utama.

3.7 Perencanaan Sambungan

1) Sambungan Las

Berdasarkan SNI 1729:2015 pasal J2.4, kekuatan desain, ϕR_n dari joint yang dilas harus merupakan nilai terendah dari kekuatan material dasar yang ditentukan menurut keadaan batas dari keruntuhan tarik dan keruntuhan berikut ini:

Untuk Logam Dasar :

$$R_n = F_{nBM} A_{BM} \quad (3.11)$$

Untuk Logam Las :

$$R_n = F_{mW} A_w \quad (3.12)$$

Keterangan :

F_{nBM} = Tegangan nominal dari logam dasar, MPa

F_{mW} = Tegangan nominal dari logam las, MPa

A_{BM} = Luas penampang logam dasar, mm²

A_w = Luas efektif las, mm²

Nilai ϕ , F_{nBM} , F_{mW} serta batasannya diberikan pada SNI 1729:2015 tabel J2.5.

2) Sambungan Baut

a) Baut tipe tumpu

Berdasarkan SNI 1729:2015 pasal J3.7, kekuatan tarik yang tersedia dari baut yang menahan kombinasi gaya tarik dan geser harus ditentukan sesuai dengan keadaan batas dari keruntuhan geser sebagai berikut :

$$R_n = F'_m A_b \quad (3.13)$$

$$\phi = 0.75 \text{ (DFBK)}$$

F'_{nt} = Tegangan tarik nominal yang dimodifikasi mencakup efek tegangan geser, MPa

F_{nt} = Tegangan tarik normal dari SNI 1729:2015 Tabel J3.2, MPa

F_{nv} = Tegangan geser dari SNI 1729:2015 Tabel J3.2, MPa

F_{nv} = Tegangan geser yang diperlukan menggunakan kombinasi beban DBFK, MPa

b) Baut Kekuatan Tinggi dalam Sambungan Kritis-Slip
Ketahanan slip yang tersedia untuk keadaan batas dari slip harus ditentukan sebagai berikut :

$$R_n = \mu D_u h_f T_b n_s \quad (3.14)$$

- a. Untuk lubang ukuran standart lubang slot pendek yang tegak lurus terhadap arah dari beban
 $\phi = 1.00$ (DFBK)
- b. Untuk lubang ukuran berlebih dan lubang slot pendek yang paralel terhadap arah dari beban
 $\phi = 0.85$ (DFBK)
- c. Untuk lubang slot panjang
 $\phi = 0.85$ (DFBK)

Keterangan :

μ = Koefisien slip rata-rata untuk permukaan Kelas A dan B yang sesuai, dan ditentukan sebagai berikut, atau seperti ditetapkan oleh pengujian.

D_u = 1.13 ; suatu pengali yang mencerminkan rasio dari rata-rata pratarik baut terpasang terhadap pratarik baut minimum yang di syaratkan.

T_b = Gaya tarik minimum sarana penyambung yang diberikan SNI 1729:2015 tabel J3.1, kips, atau J3.1M, Kn

h_f = Faktor untuk pengisi, ditentukan sebagaimana dalam SNI 1720:2015

n_s = Jumlah bidang slip yang diperlukan untuk mengizinkan sambungan dengan slip

3.8 Struktur Bawah

Pondasi pada umumnya berlaku sebagai komponen struktur pendukung bangunan yang terbawah dan berfungsi sebagai elemen terakhir yang meneruskan beban ke tanah. Dalam perencanaan pondasi ada dua jenis pondasi yang umum dipakai

dalam dunia konstruksi, yaitu pondasi dangkal dan pondasi dalam. Pondasi dangkal dipakai untuk struktur dengan beban yang relatif kecil, sedangkan untuk pondasi dalam dipakai untuk struktur dengan beban yang relatif besar seperti pada gedung yang berlantai banyak dikatakan pondasi dalam jika perbandingan antara kedalaman pondasi (D) dengan diameternya (B) adalah lebih besar sama dengan 10 ($D/B \geq 10$). Pondasi dalam ini ada beberapa macam jenis, antara lain pondasi tiang pancang, pondasi tiang bor (pondasi sumuran), dan lain sebagainya Sambungan antara kolom dan pondasi, dihubungkan dengan baseplate yang disambungkan dengan pedestal dan selanjutnya disambungkan dengan pile cap.

3.8.1 Pondasi

3.8.1.1 Daya Dukung Tiang Tunggal

Pondasi direncanakan menggunakan tiang bored pile dengan perhitungan daya dukung pondasi berdasarkan hasil dari SPT (*Standart Penetration Test*)

$$P = \frac{(Q_d.A) + (U.\sum l_i f_i)}{SF} - W_{BP} \quad (3.15)$$

Dimana :

Q_d = Daya dukung tanah (t/m^2) lihat tabel

A = Luas penampang bored pile (m^2)

U = Keliling bored pile

SF = Safety Faktor (2.5 – 3)

W_{BP} = Berat bored pile (ton)

3.8.1.2 Daya Dukung Tiang Kelompok

Disaat sebuah tiang merupakan bagian dari grup tiang, daya dukungnya mengalami modifikasi, karena pengaruh dari grup tiang tersebut. Untuk kasus daya dukung pondasi, kita harus memperhitungkan sebuah faktor koreksi, yang menjadi efisiensi dari grup tiang pancang tersebut (*Wahyudi, 1990*).

$$Q_{L(\text{grup})} = Q_{L1 \text{ tiang}} \cdot n \cdot C_e \quad (3.16)$$

Dimana :

Q_L = Daya dukung tiang pancang
 n = Jumlah tiang dalam grup
 C_e = Efisiensi grup tiang pancang

3.8.2 Perencanaan Poer

Poer direncanakan terhadap gaya geser pons pada penampang kritis dan penulangan akibat momen lentur.

3.8.2.1 Kontrol Geser Pons

Poer harus mampu menyebarkan beban dari kolom ke pondasi, sehingga perlu dilakukan kontrol kekuatan geser pons untuk memastikan bahwa kekuatan geser nominal beton harus lebih besar dari geser pons yang terjadi. Perencanaan geser pons pada poer tersebut berdasarkan ketentuan SNI 2002 Pasal 13.12.2.1. Dalam merencanakan tebal poer, harus memenuhi syarat bahwa kekuatan geser nominal beton harus lebih besar dari geser pons yang terjadi.

$$\phi V_c = \phi \left(1 + \frac{2}{\beta_c} \right) \left(\frac{\sqrt{f'c}}{6} \right) \cdot b_o \cdot d \quad (3.17)$$

$$\phi V_c = \phi \frac{1}{3} f'c \cdot b_o \cdot d \quad (3.18)$$

Dimana :

B_c = Rasio dari sisi panjang terhadap sisi pendek beton dari daerah beban terpusat

b_e = Keliling dari penampang kritis pada poer

$$b_e = 2 (b_k + d) + 2 (h_k + d)$$

dengan :

b_k = lebar penampang kolom

h_k = tinggi penampang kolom

d = tebal efektif poer

3.8.2.2 Penulangan Poer

Untuk penulangan lentur, poer dianalisa sebagai balok kantilever dengan perletakan jepit pada kolom. Sedangkan beban yang bekerja adalah beban terpusat di tiang kolom yang menyebabkan reaksi pada tanah dan berat sendiri poer.

Perhitungan gaya dalam pada poer didapat dengan teori mekanika statis tertentu.

3.9 Kontrol Design

Melakukan analisa struktur bangunan, dimana harus memenuhi syarat keamanan dan rasional sesuai batas – batas tertentu menurut peraturan. Dilakukan pengambilan kesimpulan, apakah desain telah sesuai dengan syarat – syarat perencanaan dan peraturan angka keamanan, serta efisiensi. Bila telah memenuhi persyaratan, maka dapat diteruskan ke tahap pendetailan dan apabila tidak memenuhi persyaratan, maka dilakukan pendesainan ulang.

3.10 Penggambaran Output Design

Penggambaran hasil Perencanaan dan perhitungan dalam gambar teknik ini dengan menggunakan program bantu Autocad

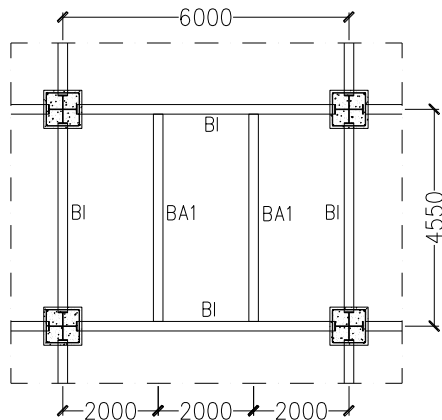
BAB VI

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Perencanaan Struktur Lantai

Perencanaan pelat lantai pada gedung yang direncanakan menggunakan Bondek dengan tabel perencanaan praktis dari SUPER FLOOR DECK. Struktur lantai direncanakan tanpa penyangga selama proses pengerasan, pelat beton dengan tebal bondek 0.75 mm, mutu baja f'_c 25 MPa, dan mutu baja tulangan $f_y = 480$ MPa. Untuk pembebanan meliputi beban finishing dan beban hidup (beban berguna). Beban mati (berat sendiri Super Deck dan pelat beton) sudah diperhitungkan. Beban berguna dalam tabel praktis adalah jumlah beban hidup dan beban beban finishing.

4.1.1 Pelat Atap



Gambar 4. 1 Pelat Atap (Lantai 13)

a. Pembebanan

Beban Super imposed (berguna)

Beban Finishing

- Aspal (1 cm) = 14 kg/m²
- Penggantung Plafond = 7 kg/m²
- Plafond = 11 kg/m²

- MEP
$$= 25 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2} +$$

$$= 57 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2}$$

Beban Hidup

- Atap (SNI 1727:2013)
$$= 0.96 \text{ kN/m}^2$$

$$= 100 \text{ kg/m}^2$$

Beban Super imposed (Berguna)

= Beban Finishing + Beban Hidup

$$= 57 \text{ kg/m}^2 + 100 \text{ kg/m}^2$$

$$= 157 \text{ kg/m}^2 \approx 200 \text{ kg/m}^2$$

Berdasarkan tabel perencanaan praktis untuk bentang menerus dengan tulangan negatif dengan satu baris penyangga didapatkan data-data sebagai berikut:

- Bentang (Span) $= 2 \text{ m}$
- Beban berguna $= 200 \text{ kg/m}^2$
- Tebal pelat beton $= 9 \text{ cm}$
- Tulangan negatif $= 1.07 \text{ cm}^2/\text{m}$

b. Perencanaan Tulangan Negatif

- Direncanakan memakai tulangan dengan $\varnothing 10 \text{ mm}$,
 $f_y = 400 \text{ MPa}$
 $(A_s = 0.785 \text{ cm}^2)$

- Banyaknya tulangan yang diperlukan tiap 1 m

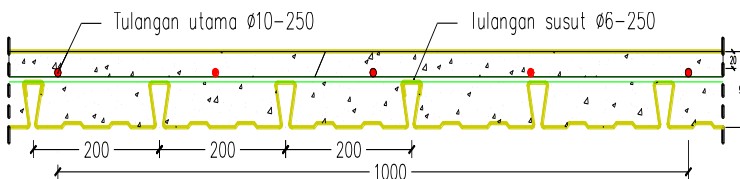
$$\frac{A}{A_s} = \frac{1.07}{0.785} = 1.36 \text{ buah} \approx 2 \text{ buah}$$

- Jarak antar tulangan (s)

$$\frac{1000}{2} = 500 \text{ mm}$$

Jadi, dipasang tulangan negatif $\varnothing 10 - 250 \text{ mm}$

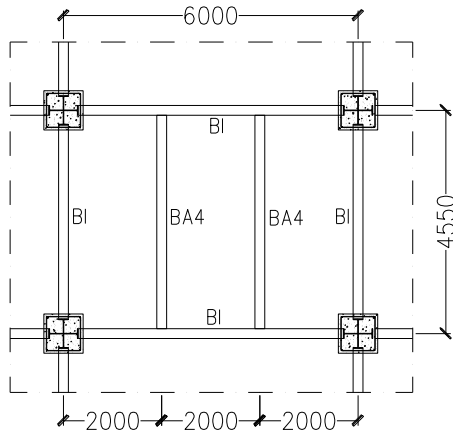
Dipasang tulangan susut $\varnothing 6 - 250 \text{ mm}$



Gambar 4. 2 Penulangan Pelat Atap (Lantai 13)

4.1.2 Pelat Lantai 1-12 Tipikal

Digunakan pelat bondek dengan tebal = 0.75 mm



Gambar 4. 3 Pelat Lantai 1-12 Tipikal

a. Pembebanan

Beban super imposed (berguna)

• Keramik (1cm)	= 24	kg/m ²
• Adukan semen (1cm)	= 21	kg/m ²
• Penggantung plafond	= 7	kg/m ²
• Plafond	= 11	kg/m ²
• MEP	= 25	kg/m ² +
	= 88	kg/m ²

Beban finishing

Beban Hidup

- Atap (SNI 1727:2013) = 1.92 kN/m²
= 200 kg/m²

Beban super imposed (berguna)

= Beban finishing + beban hidup

= 88 kg/m² + 200 kg/m²

= 288 kg/m² ≈ 300 kg/m²

Berdasarkan tabel perencanaan praktis untuk bentang menerus dengan tulangan negatif tanpa penyangga didapatkan data-data sebagai berikut:

- Bentang (Span) = 2 m
- Tebal pelat beton = 9 cm
- Tulangan negatif = 1.31 cm²/m

b. Perencanaan Tulangan Negatif

- Direncanakan memakai tulangan dengan Ø10 mm,
 $f_t = 400 \text{ MPa}$
 $A_s = 0.785 \text{ cm}^2$

- Banyaknya tulangan yang diperlukan tiap 1 m

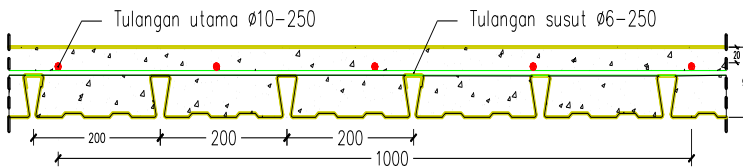
$$\frac{A}{A_s} = \frac{1.31}{0.785} = 1.67 \text{ buah} \approx 2 \text{ buah}$$

- Jarakantar tulangan (s)

$$\frac{1000}{2} = 500 \text{ mm}$$

Jadi, dipasang tulangan tarik Ø10 – 250 mm

Dipasang tulangan susut Ø6 – 250 mm



Gambar 4. 4 Penulangan Pelat Lantai 1-12 Tipikal

4.2 Perencanaan Tangga

4.2.1 Tangga Lantai 1-12 Tipikal

Mutu baja (BJ 41) : $f_y = 2500 \text{ kg/cm}^2$

Mutu beton (f_c') : $f_c' = 30 \text{ MPa}$

Ketinggian antar lantai : 350 cm

Tinggi bordes : 175 cm

Tinggi injakan (t) : 17.5 cm

Lebar injakan (i) : 30 cm

Jumlah injakan (Σt) : $\frac{175}{17.5} = 10 \text{ buah}$

Lebar bordes : 150 cm

Panjang bordes : 290 cm

Lebar tangga : 130 cm

Sudut kemiringan : 30°

a. Persyaratan tangga

$$60 \text{ cm} < 2t + I < 65 \text{ cm}$$

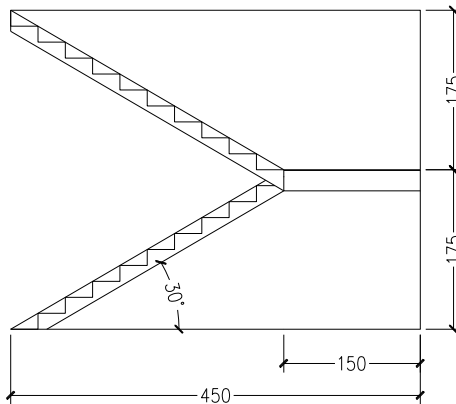
$$60 \text{ cm} < 2 \times 17.5 + 30 < 65 \text{ cm}$$

$$60 \text{ cm} < 65 \text{ cm} < 65 \text{ cm}$$

b. Syarat sudut kemiringan

$$25^\circ \leq \alpha \leq 40^\circ$$

$$25^\circ \leq 30^\circ \leq 40^\circ$$



Gambar 4. 5 Tangga Lantai 1-13 Tipikal

4.2.2 Perencanaan Pelat Anak Tangga

Tebal pelat anak tangga = 4 mm

Berat jenis baja = 7850 kg/m³

Mutu baja BJ 41 → Tegangan leleh baja = 2500 kg/m²

a. Pembebanan

1. Beban Mati :

Pelat anak tangga	= 0.004 x 1.3 x 7850	= 40.82 kg/m
Sambungan	= 10% x 40.82	<u>= 4.08 kg/m</u>
		= 44.90 kg/m

2. Beban Hidup :

$$\begin{aligned}
& \text{Tangga (SNI 1727:2013 Tabel 4-1)} \\
& = 4.79 \text{ kN/m}^2 \\
& = 488.44 \text{ kg/m}^2 \times 1.3 \text{ m} = 634.98 \text{ kg/m} \\
& q_u = 1.2q_d + 1.6 q_l \\
& = 1.2 \times 44.90 + 1.6 \times 634.98 \\
& = 1069.85 \text{ kg/m} \\
& M_u = \frac{1}{8} q_u L^2 \\
& = \frac{1}{8} \times 1069.85 \times 0.3^2 \\
& = 12.04 \text{ kgm} = 1203.58 \text{ kgcm}
\end{aligned}$$

b. Kontrol Momen Lentur

$$\begin{aligned}
M_n & = M_p = f_y \cdot Z_x \\
Z_x & = \frac{1}{4} \times b \times h^2 \\
& = \frac{1}{4} \times 130 \times 0.4^2 \\
& = 5.20 \text{ cm}^3 \\
M_n & = f_y \cdot Z_x = 2500 \times 5.20 \\
& = 13000 \text{ kgcm} \\
\phi_b M_n & \geq M_u \rightarrow \phi = 0.9 \\
\phi_b M_n & \geq M_u \\
0.9 \times 13000 & \geq 1203.58 \\
11700 & \geq 1203.58 \text{ (memenuhi)}
\end{aligned}$$

c. Kontrol Lendutan

$$\begin{aligned}
& \text{Batas lendutan maks (f ijin)} = \frac{L}{360} \\
f \text{ (ijin)} & = \frac{L}{360} = \frac{30}{360} = 0.083 \text{ cm} \\
f^o & = \frac{5}{384} \frac{qL^4}{EI_x} = \frac{5}{384} \frac{(q_D + q_L) \times L^4}{E \times I_x} \\
I_x & = \frac{1}{12} b h^3 = \frac{1}{12} \times 130 \times 0.4^3 \\
& = 0.693 \text{ m}^4
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 f^o &= \frac{5}{384} = \frac{5}{384} \frac{(0.449 + 6.350) \times 30^4}{2.10^6 \times 0.693} \\
 &= 0.052 \text{ cm} \\
 &= 0.052 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

$$f^o \leq f \text{ ijin}$$

$$0.052 \text{ cm} \leq 0.083 \text{ cm (memenuhi)}$$

4.2.3 Perencanaan Penyangga Pelat Injak

Direncanakan memakai profil siku $\angle 50 \times 50 \times 6$, dengan data sebagai berikut:

W	= 4.43	kg/m	iy	= 1.5	cm
A	= 5.64	cm ²	Ix	= 12.6	cm ⁴
b	= 50	mm	Iy	= 12.6	cm ⁴
tw	= 6	mm	Zx	= 3.55	cm ³
r	= 6.5	mm	Zy	= 3.55	cm ³
ix	= 1.5	cm			

a. Pembebanan

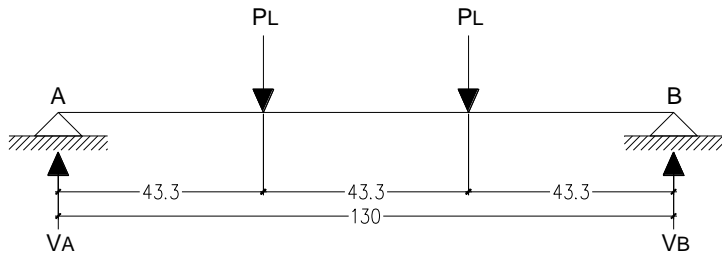
1. Beban Mati :

$$\begin{aligned}
 \text{Pelat anak tangga} &= 0.004 \times 0.5 \times 0.3 \times 7850 = 4.71 \text{ kg/m} \\
 \text{Profil anak tangga} &= \underline{4.43 \text{ kg/m} +} \\
 &= 9.14 \text{ kg/m} \\
 \text{Sambungan} &= 10\% \times 9.14 \quad \underline{= 0.91 \text{ kg/m} +} \\
 &= 10.05 \text{ kg/m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 MD &= \frac{1}{8} \times qd \times L^2 \\
 &= \frac{1}{8} \times 10.05 \times 1.3^2 \\
 &= 2.12 \text{ kgm}
 \end{aligned}$$

2. Beban Hidup :

$$PL = 100 \text{ kg}$$



$$R_A = R_B = 99.92 \text{ kg}$$

$$\begin{aligned} M_L &= R_A (1/2 \cdot L) - P (1/6 \cdot L) \\ &= 99.92 \times \frac{1}{2} \times 1.3 \\ &= 43.28 \text{ kgm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_U &= 1.2 M_D + 1.6 M_L \\ &= 1.2 \times 2.12 + 1.6 \times 43.28 \\ &= 71.80 \text{ kgm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_U &= 1.2 (1/2 \text{ qd } L) + 1.6 (PL) \\ &= 1.2 (1.2 \times 10.05 \times 1.3) + 1.6 \times 100 \\ &= 167.84 \text{ kg} \end{aligned}$$

b. Kontrol Kekuatan Profil

$$\begin{aligned} C_b &= \frac{12.5 M_{\text{maks}}}{2.5 M_{\text{maks}} + 3 M_A + 4 M_B + 3 M_C} \\ &= \frac{12.5 \times 72}{2.5 \times 71.80 + 3 \times 43.26 + 4 \times 71.80 + 3 \times 43.26} \\ &= 1.24 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_e &= \frac{0.46 E_b t^2 C_b}{L_b} \\ &= \frac{0.46 \times 2 \times 10^5 \times 50^2 \times 1.24}{1300} \\ &= 7870633 \text{ kgmm} = 7871 \text{ kgm} \quad M_y = F_y \cdot S \\ &= 2500 \times 3.55 \\ &= 8875 \text{ kgcm} \\ &= 88.75 \text{ kgm} \end{aligned}$$

Bila $M_e > M_y$

$$\begin{aligned}
 M_n &= \left(1.92 - 1.17 \sqrt{\frac{M_y}{M_e}} \right) M_y \\
 &= \left(1.92 - 1.17 \sqrt{\frac{88.75}{7871}} \right) 88.75 \\
 &= 159 \text{ kgm}
 \end{aligned}$$

$$\phi_b M_n \geq M_u \quad \phi = 0.90$$

$$0.90 \times 159 \geq 71.80$$

$$143.44 \text{ kgcm} \geq 71.80 \text{ kgcm}$$

c. Kontrol Lendutan

$$\text{Batas lendutan maks (f ijin)} = \frac{L}{240}$$

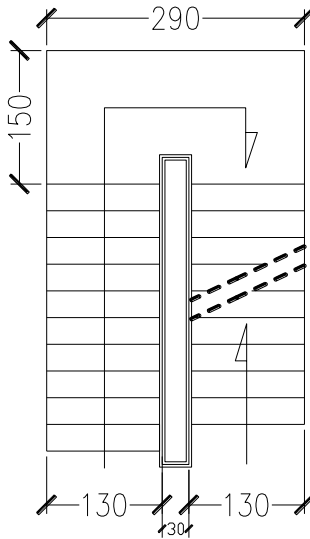
$$f_{\text{ijin}} = \frac{L}{240} = \frac{130}{240} = 0.542 \text{ cm}$$

$$f^o = \frac{19}{384} \frac{PL^4}{EI_x}$$

$$f^o = \frac{19}{384} \frac{100 \times 130^4}{2 \times 10^5 \times 12.6}$$

$$f^o = 0.280 \text{ cm} \leq 0.542 \text{ cm} \text{ (memenuhi)}$$

4.2.4 Perencanaan Pelat Bordes



Gambar 4. 6 Denah Tangga Lantai 1-13 Tipikal

Tebal pelat bordes = 7 mm
 Lebar pelat bordes = 150 cm
 Berat jenis baja = 7850 kg/m³
 Mutu baja BJ41 → = Tegangan leleh baja = 2500 kg/m²

a. Pembebanan

1. Beban Mati:

$$\begin{aligned}
 \text{Pelat bordes} &= 0.007 \times 1.5 \times 7850 = 82.43 \text{ kg/m} \\
 \text{Sambungan} &= 10\% \times 82.43 = \underline{8.24 \text{ kg/m}} + \\
 &= 90.67 \text{ kg/m}
 \end{aligned}$$

2. Beban Hidup:

$$\begin{aligned}
 \text{Tangga (SNI 1727:2013 Tabel 4-1)} \\
 &= 4.79 \text{ kN/m}^2 \\
 &= 488.44 \text{ kg/m}^2 \\
 &= 488.44 \times 1.5 \\
 &= 732.66 \text{ kg/m}
 \end{aligned}$$

$$q_u = 1.2q_d + 1.6q_L$$

$$= 1.2 \times 90.67 + 1.6 \times 732.66$$

$$= 1281.06 \text{ kg/m}$$

$$\text{Mu} = \frac{1}{8} q_u L^2$$

$$= \frac{1}{8} \times 1281.06 \times 0.5^2$$

$$= 40.03 \text{ kgm}$$

$$\text{MD} = \frac{1}{8} q_d L^2$$

$$= \frac{1}{8} \times 90.67 \times 1.5^2$$

$$= 25.50 \text{ kgm}$$

b. Kontrol Kekuatan Profil

$$L_b = 150 \text{ cm}$$

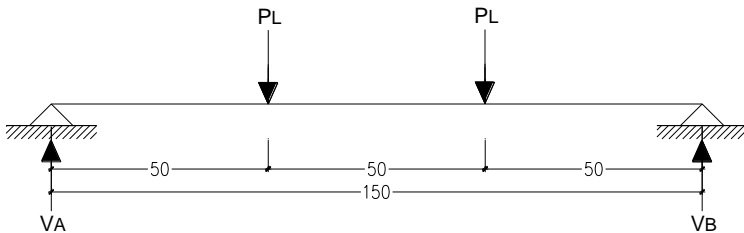
$$\frac{L_b d}{t^2} = \frac{1500 \times 2900}{7^2}$$

$$= 88776$$

$$\frac{1.9 E}{F_y} = \frac{1.9 \times 2.10^5}{250}$$

$$= 1520$$

$$\frac{L_b d}{t^2} > \frac{1.9 E}{F_y} \text{ maka, } M_n = F_{cr} \cdot S_x$$



$$R_A = R_B = 100 \text{ kg}$$

$$M_L = R_A (1/2 \cdot L) - P (1/3 \cdot L \cdot 1/2)$$

$$= 100 (1/2 \times 1.5) - 100 (1/3 \times 1.5 \times 0.5)$$

$$= 50 \text{ kgm}$$

$$M_U = 1.2 M_D + 1.6 M_L$$

$$= 1.2 \times 25.50 + 1.6 \times 50$$

$$= 110.60 \text{ kgm}$$

$$\begin{aligned}
 C_b &= \frac{12.5 M_{maks}}{2.5 M_{maks} + 3 M_A + 4 M_B + 3 M_C} \\
 &= \frac{12.5 \times 110.60}{2.5 \times 110.60 + 3 \times 50 + 4 \times 110.60 + 3 \times 50} \\
 &= 1.41
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 F_{cr} &= \frac{1.9 E C_b}{\frac{L_b d}{t^2}} \\
 &= \frac{1.9 \times 2 \cdot 10^5 \times 1.41}{\frac{1500 \times 2900}{7^2}} \\
 &= 6.03 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 S_x &= \frac{1}{4} b d^2 \\
 &= \frac{1}{4} \times 150 \times 0.7^2 \\
 &= 18.4 \text{ cm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_n &= F_{cr} \cdot S_x \\
 &= 6.03 \times 18.4 \\
 &= 11079.93 \text{ kgcm} \\
 &= 110.80 \text{ kgm}
 \end{aligned}$$

$$\phi_b M_n \geq M_u \longrightarrow \phi = 0.9$$

$$0.9 \times 110.80 \geq 40,03$$

$$99.72 \geq 40,03$$

c. Kontrol Lendutan

$$\text{Batas lendutan maks (f ijin)} = \frac{L}{360}$$

$$\frac{L}{360} = \frac{50}{360} = 0.139 \text{ cm}$$

$$f^\circ = \frac{5}{384} \frac{q L^4}{E I_x}$$

$$f^\circ = \frac{5}{384} \frac{(q_D + q_L) L^4}{E I_x}$$

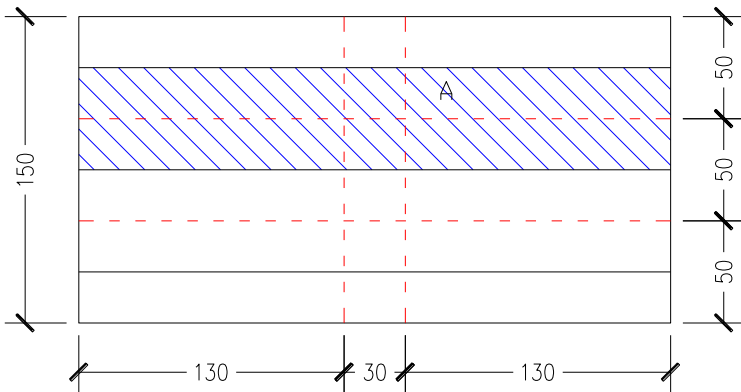
$$\begin{aligned}
 I_x &= \frac{1}{12} b h^3 \\
 &= \frac{1}{12} \times 150 \times 0.7^3
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= 4.3 \text{ cm}^4 \\
 f^o &= \frac{5}{384} \frac{(0.91 + 7.33) 50^4}{2 \times 10^5 \cdot 4.3} \\
 &= 0.078 \text{ cm} \\
 f^o &\leq f_{\text{ijin}} \\
 0.078 \text{ cm} &\leq 0.139 \text{ cm} \quad (\text{Ok})
 \end{aligned}$$

4.2.5 Perencanaan Balok Pembagi Bordes

Direncanakan memakai profil WF 150x75x5x7, dengan data sebagai berikut:

W	= 14	kg	r	= 8	mm	Sy	= 21	cm ³
A	= 17.85	cm	ix	= 3.98	cm	Zx	= 88.8	cm ³
b	= 75	mm	iy	= 1.12	cm	Zy	= 13.2	cm ³
d	= 150	mm	Ix	= 666	cm ⁴	h	= 120	mm
tf	= 7	mm	Iy	= 49.5	cm ⁴			
tw	= 5	mm	Sx	= 98	cm ³			

Balok Pembagi A :

Gambar 4. 7 Denah Balok Pembagi A

a. Pembebanan

1. Beban Mati:

$$\begin{aligned}
 \text{Pelat bordes} &= 0.007 \times 0.5 \times 7850 = 27.475 \text{ kg/m} \\
 \text{Balok WF} &= \underline{14 \text{ kg/m}} + \\
 &= 41.475 \text{ kg/m} \\
 \text{Sambungan} &= 10\% \times 41.475 = \underline{4.1475 \text{ kg/m}} + \\
 &= 45.622 \text{ kg/m}
 \end{aligned}$$

2. Beban hidup:

$$\begin{aligned}
 &\text{Tangga (SNI 1727:2013 Tabel 4-1)} \\
 &= 4.79 \text{ kN/m}^2 \\
 &= 488.44 \text{ kg/m}^2 \times 0.5 \text{ m} \\
 &= 244.2 \text{ kg/m}
 \end{aligned}$$

b. Momen Berfaktor

$$\begin{aligned}
 q &= q_d + Q_l \\
 &= 45.62 + 244.22 \\
 &= 289.84 \text{ kg/m} \\
 q_{ul} &= 1.2q_d + 1.6q_L \\
 &= 1.2 \times 45.622 + 1.6 \times 244.2 \\
 &= 455.50 \text{ kg/m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Mu &= \frac{1}{8} q u L^2 \\
 &= \frac{1}{8} \times 455.50 \times 1.3^2 \\
 &= 94.11 \text{ kgm}
 \end{aligned}$$

c. Kontrol Penampang

- kontrol sayap

$$\begin{aligned}
 \frac{bf}{2tf} &= \frac{75}{14} = 5.357 \\
 \lambda_p &= \frac{170}{\sqrt{f_y}} = \frac{170}{\sqrt{250}} = 10.752 \\
 \frac{bf}{2tf} &\leq \lambda_p = \frac{170}{\sqrt{f_y}} \quad (\text{Ok})
 \end{aligned}$$
- kontrol badan

$$\begin{aligned}
 \frac{h}{tw} &= \frac{120}{5} = 24 \\
 \lambda_p &= \frac{1680}{\sqrt{f_y}} = \frac{1680}{\sqrt{250}} = 106 \\
 \frac{h}{tw} &\leq \lambda_p = \frac{1680}{\sqrt{f_y}} \quad (\text{Ok})
 \end{aligned}$$

Penampang kompak

d. Kontrol Lateral Buckling

Profil dengan pengaku disepanjang bentang $LB = 0$

$$\begin{aligned}
 L_p &= 1.76 \text{ iy } \sqrt{\frac{E}{f_y}} \\
 &= 1.76 \times 1.12 \sqrt{\frac{2 \times 10^5}{250}} \\
 &= 55.756 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

$LB < LP \longrightarrow$ Bentang pendek $M_n = M_{px}$

$$M_n = M_{px} = Z_x \cdot F_y$$

$$\begin{aligned}
 &= 88.8 \times 2500 \\
 &= 222000 \text{ kgcm} \\
 &= 2220 \text{ kgm}
 \end{aligned}$$

$$M_u \leq 0.9 M_{nx}$$

$$94.11 \text{ kgm} \leq 1998 \text{ kgm} \quad (\text{Ok})$$

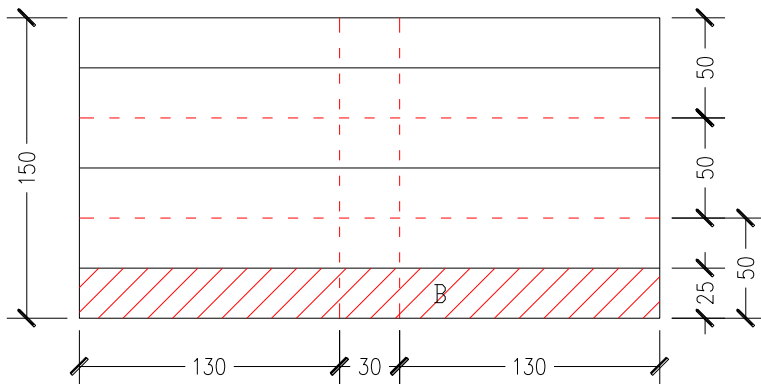
e. Kontrol Lendutan

$$\text{Lendutan ijin (f ijin)} = \frac{L}{360} = \frac{130}{360} = 0.361 \text{ cm}$$

$$\begin{aligned}
 f^o &= \frac{5}{384} \frac{qL^4}{EI_x} \\
 &= \frac{5}{384} \frac{(qD + qL) L^4}{EI_x} \\
 &= \frac{5}{384} \frac{(0.46 + 2.44) 130^4}{2 \times 10^6 \cdot 666} \\
 &= 0.008 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

$$f^o = 0.008 \text{ cm} \leq 0.361 \text{ cm} \quad (\text{Ok})$$

Balok Pembagi B :



Gambar 4. 8 Denah Balok Pembagi B

Direncanakan memakai profil WF 150x75x5x7, dengan data sebagai berikut:

$$\begin{array}{llll}
 W &= 14 & \text{kg/m} & r = 8 \text{ mm} & S_y &= 21 \text{ cm}^3 \\
 A &= 17.85 & \text{cm} & i_x &= 3.98 \text{ cm} & Z_x &= 88.8 \text{ cm}^3
 \end{array}$$

$$\begin{array}{llll}
 b & = 75 & \text{mm} & i_y = 1.12 \text{ cm} & Z_y = 13.2 \text{ cm}^3 \\
 d & = 150 & \text{mm} & I_x = 666 \text{ cm}^4 & h = 120 \text{ mm} \\
 t_f & = 7 & \text{mm} & I_y = 49.5 \text{ cm}^4 & \\
 t_w & = 5 & \text{mm} & S_x = 98 \text{ cm}^3 &
 \end{array}$$

a. Pembebanan

1. Beban Mati:

$$\begin{array}{ll}
 \text{Pelat bordes} & = 0.007 \times 0.5 \times 7850 \times 0.5 = 13.737 \text{ kg/m} \\
 \text{Balok WF} & = \underline{14 \text{ kg/m} + 27.737 \text{ kg/m}} \\
 & = 41.737 \text{ kg/m} \\
 \text{Sambungan} & = 10\% \times 27.737 = \underline{2.774 \text{ kg/m} + 30.511 \text{ kg/m}}
 \end{array}$$

2. Beban hidup:

$$\begin{array}{l}
 \text{Tangga (SNI 1727:2013 Tabel 4-1)} \\
 = 4.79 \text{ kN/m}^2 \\
 = 488.44 \text{ kg/m}^2 \times 0.5 \text{ m} \times 0.5 \\
 = 122.1 \text{ kg/m}
 \end{array}$$

b. Momen Berfaktor

$$\begin{array}{l}
 q = q_d + q_L \\
 = 30.51 + 122.11 \\
 = 152.62 \text{ kg/m} \\
 q_{u1} = 1.2q_d + 1.6q_L \\
 = 1.2 \times 30.51 + 1.6 \times 122.1 \\
 = 231.99 \text{ kg/m}
 \end{array}$$

Karena profil yang digunakan sama dengan balok bagi A maka kontrol momen, profil dan lendutan dipastikan Ok/ (sangat kuat)

4.2.6 Perencanaan Balok Tangga

Direncanakan memakai profil WF 200x100x5.5x8 dengan data sebagai berikut:

$$\begin{array}{llll}
 W & = 21.3 & \text{kg/m} & r = 11 \text{ mm} & S_y = 41 \text{ cm}^3 \\
 A & = 27.16 & \text{cm} & i_x = 8.24 \text{ cm} & Z_x = 184 \text{ cm}^3 \\
 b & = 100 & \text{mm} & i_y = 2.22 \text{ cm} & Z_y = 26.8 \text{ cm}^3 \\
 d & = 200 & \text{mm} & I_x = 1840 \text{ cm}^4 & h = 167 \text{ mm} \\
 t_f & = 5.5 & \text{mm} & I_y = 134 \text{ cm}^4 &
 \end{array}$$

$$t_w = 8 \text{ mm} \quad S_x = 200 \text{ cm}^3$$

a. Pembebanan

• q_{ul}

1. Beban Mati:

$$\text{Berat pagar} = 20 \text{ kg/m}$$

(Hand Rail)

$$\text{Pengaku} = 2 \times 21.3/0.3 \times 0.5 \times 1.3 = 19.20 \text{ kg/m}$$

(\angle 50x50x6)

$$\text{Beban pelat} = 0.004 \times 0.5 \times 7850 \times 1.3 = 20.41 \text{ kg/m}$$

$$\text{Balok WF} = 21.3/\cos 30^\circ = \underline{24.60 \text{ kg/m} +}$$

$$= 84.20 \text{ kg/m}$$

$$\text{Sambungan} = 10\% \times 84.20 = \underline{8.420 \text{ kg/m} +}$$

$$= 92.62 \text{ kg/m}$$

2. Beban Hidup:

Tangga (SNI 1727:2013 Tabel 4-1)

$$= 4.79 \text{ kN/m}^2$$

$$= 488.44 \text{ kg/m}^2 \times 1.3 \text{ m} \times 0.5$$

$$= 317.486 \text{ kg/m}$$

$$q_{ul} = 1.2q_d + 1.6q_l$$

$$= 1.2 \times 92.62 + 1.6 \times 317.49$$

$$= 619.12 \text{ kg/m}$$

- **qu2**

1. **Beban Mati:**

$$\text{Berat pagar} = 20 \text{ kg/m}$$

(Hand Rail)

$$\text{Balok WF} = \text{WF } 200 \times 100 \times 5.5 \times 8 = 19.20 \text{ kg/m} +$$

$$= 41.30 \text{ kg/m}$$

$$\text{Sambungan} = 10\% \times 41.30 = 4.130 \text{ kg/m} +$$

$$= 45.43 \text{ kg/m}$$

2. **Beban Hidup:**

Tangga (SNI 1727:2013 Tabel 4-1)

$$= 4.79 \text{ kN/m}^2$$

$$= 488.44 \text{ kg/m}^2 \times 1.3 \text{ m} \times 0.5$$

$$= 317.486 \text{ kg/m}$$

$$\text{qu2} = 1.2\text{qd} + 1.6\text{ql}$$

$$= 1.2 \times 45.43 + 1.6 \times 317.49$$

$$= 562.49 \text{ kg/m}$$

➤ **P1 (balok pembagi B)**

$$\text{Pu1} = (1/2 \cdot \text{qbu} \cdot \text{L1}) + (1/2 \cdot \text{qbu} \cdot \text{L2})$$

$$= (1/2 \times 231.99 \times 1.3) + (1/2 \times 231.99 \times 0.3)$$

$$= 185.59 \text{ kg}$$

➤ **P2 (balok pembagi A)**

$$\text{Pu2} = (1/2 \cdot \text{qbu} \cdot \text{L1}) + (1/2 \cdot \text{qbu} \cdot \text{L2})$$

$$= (1/2 \times 445.50 \times 1.3) + (1/2 \times 445.50 \times 0.3)$$

$$= 356.40 \text{ kg}$$

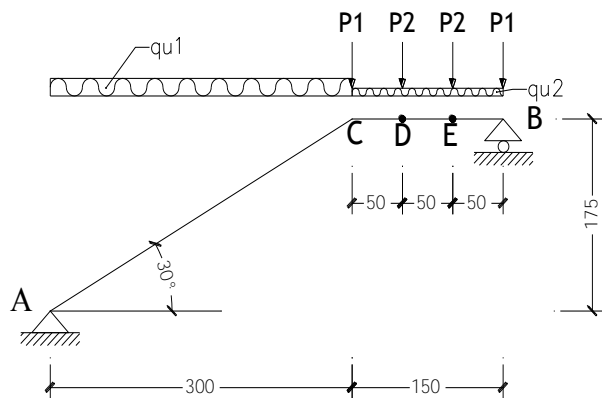
b. Gaya Dalam Balok Tangga

$$\text{qu1} = 619.12 \text{ kg/m}$$

$$\text{qu2} = 562.49 \text{ kg/m}$$

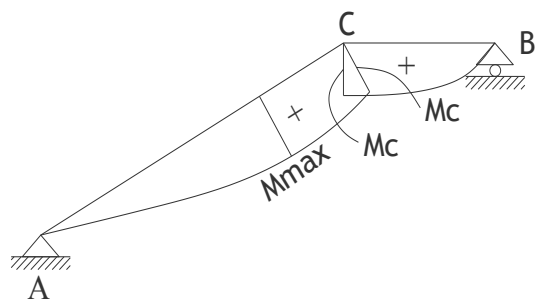
$$\text{P1} = 185.59 \text{ kg}$$

$$\text{P2} = 356.40 \text{ kg}$$



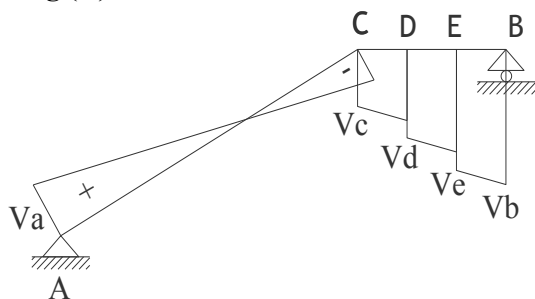
Gambar 4. 9 Perletakan dan Beban Tangga

Momen Maksimum



Gambar 4. 10 Diagram Bidang M (Output SAP 2000)

Gaya Lintang (D)



Gambar 4. 11 Diagram Bidang D (Output SAP 2000)

$$R_A = -891.47 \text{ kg}$$

$$R_B = 600.96 \text{ kg}$$

$$M_A = 0$$

$$M_B = 0$$

$$M_C = -303.61 \text{ kg}$$

$$M_{\max} = 698.14 \text{ kg}$$

$$\cos 30^\circ = 0.866$$

$$\text{Panjang bidang miring} = 3.464 \text{ m}$$

$$\text{Panjang bidang horizontal} = 1.500 \text{ m}$$

c. Kontrol Penampang

- kontrol sayap

$$\frac{bf}{2tf} = \frac{100}{11} = 9.091$$

$$\lambda_p = \frac{170}{\sqrt{f_y}} = \frac{170}{\sqrt{250}} = 10.752$$

$$\frac{bf}{2tf} \leq \lambda_p = \frac{170}{\sqrt{f_y}} \quad (\text{Ok})$$

- kontrol badan

$$\frac{h}{tw} = \frac{167}{8} = 21$$

$$\lambda_p = \frac{1680}{\sqrt{f_y}} = \frac{1680}{\sqrt{250}} = 106$$

$$\frac{h}{tw} \leq \lambda_p = \frac{1680}{\sqrt{f_y}} \quad (\text{Ok})$$

Penampang kompak

d. Kontrol Lateral Buckling

- batang miring = 3.464 m

$$L_b = \frac{30}{\cos 30^\circ} = 34.641 \text{ cm}$$

$$L_p = 1.76 \text{ iy} \sqrt{\frac{E}{f_y}}$$

$$= 1.76 \times 2.22 \sqrt{\frac{2 \times 10^6}{2500}}$$

$$= 110.512 \text{ cm}$$

$L_b < L_p \rightarrow$ batang horizontal = 1.5 m

$$L_b = 50 \text{ cm}$$

$$L_p = 1.76 \text{ iy } \sqrt{\frac{E}{f_y}}$$

$$= 1.76 \times 2.22 \sqrt{\frac{2 \times 10^6}{2500}}$$

$$= 110.512 \text{ cm}$$

$L_B < L_P \rightarrow$ Bentang pendek $M_n = M_{px}$

$$M_u = 698.140 \text{ kgm}$$

$$M_n = M_{px}$$

$$= Z_x \cdot F_y$$

$$= 184 \times 2500$$

$$= 460000 \text{ kgcm}$$

$$= 4600 \text{ kgm}$$

$$M_u \leq 0.9 M_{nx}$$

$$698.14 \text{ kgm} \leq 4140 \text{ kgm} \quad (\text{Ok})$$

e. Kontrol Lendutan

$$\text{Lendutan ijin (f ijin)} = \frac{L}{240} = \frac{496.410}{240} = 2.068 \text{ cm}$$

- batang miring = 3.464 m

$$f^\circ = \frac{5}{48} \frac{L^4}{EI_x} \times (M_{\max} - 0.1(MA + MB))$$

$$f^\circ = \frac{5}{48} \frac{346.410^4}{2 \times 10^6 \times 1840} \cdot (698.140 - 0.1(0 + 0))$$

$$f^\circ = 0.002 \text{ cm}$$

- batang horizontal = 1.5 m

$$f^\circ = \frac{5}{48} \frac{L^4}{EI_x} \times (M_{\max} - 0.1(MA + MB))$$

$$f^o = \frac{5}{48} \frac{150^4}{2 \times 10^6 \times 1840} \cdot (698.140 - 0.1(0 + 0))$$

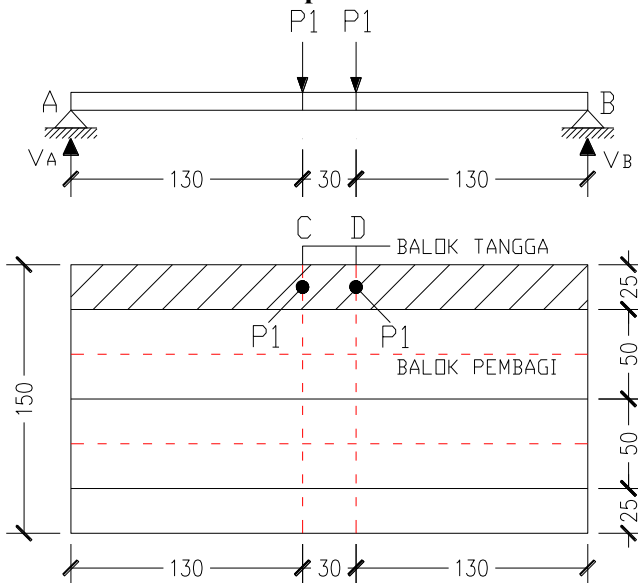
$$f^o = 0.0004 \text{ cm}$$

$$f^o_1 + f^o_2 \leq f^o$$

$$0.007 \text{ cm} + 0.001 \text{ cm} \leq 2.068 \text{ cm}$$

$$0.003 \text{ cm} \leq 2.068 \text{ cm} \quad (\text{Ok})$$

f. Perencanaan Balok Tumpuan Bordes



Gambar 4. 12 Denah Balok Tumpuan Tangga

Direncanakan menggunakan profil WF 300x150x6.5x9, dengan data sebagai berikut:

W = 21.3	kg/m	r = 11	mm	Sy = 41	cm ³
A = 27.16	cm	ix = 8.24	cm	Zx = 184	cm ³
b = 100	mm	iy = 2.22	cm	Zy = 26.8	cm ³
d = 200	mm	Ix = 1840	cm ⁴	h = 167	mm
tf = 5.5	mm	Iy = 134	cm ⁴		
tw = 8	mm	Sx = 200	cm ³		

a. Pembebanan

Pada titik C dan D, beban terpusat akibat balok tangga

$$P = 2146.359 \text{ kg.}$$

1. Beban mati:

$$\begin{aligned} \text{Pelat bordes} &= 0.007 \times 0.5 \times 7850 \times 0.5 = 13.738 \text{ kg/m} \\ \text{Balok WF} &= \text{WF 300x150x6.5x9} = 36.72 \text{ kg/m} + \\ &= 50.458 \text{ kg/m} \\ \text{Sambungan} &= 10\% \times 50.458 = 5.046 \text{ kg/m} + \\ &= 55.503 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

2. Beban hidup:

$$\begin{aligned} \text{Tangga (SNI 1727:2013 Tabel 4-1)} \\ &= 4.79 \text{ kN/m}^2 \\ &= 488.44 \text{ kg/m}^2 \times 0.5 \text{ m} \times 0.5 \\ &= 122.11 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

b. Momen Berfaktor

$$\begin{aligned} q_u &= 1.2q_d + 1.6q_L \\ &= 1.2 \times 55.503 + 1.6 \times 122.11 \\ &= 261.98 \text{ kg/m} \\ M_u &= \frac{1}{8} \times q_u \times L^2 + P_1 \times L \\ &= \frac{1}{8} \times 261.98 \times 2.9^2 + 185.59 \times 1.3 \\ &= 516.68 \text{ kgm} \end{aligned}$$

c. Kontrol Penampang

- kontrol sayap

$$\begin{aligned} \frac{b_f}{2t_f} &= \frac{150}{18} = 8.333 \\ \lambda_p &= \frac{170}{\sqrt{f_y}} = \frac{170}{\sqrt{250}} = 10.752 \\ \frac{b_f}{2t_f} &\leq \lambda_p = \frac{170}{\sqrt{f_y}} \quad (\text{Ok}) \end{aligned}$$
- kontrol badan

$$\begin{aligned} \frac{h}{t_w} &= \frac{258}{6.5} = 39 \\ \lambda_p &= \frac{1680}{\sqrt{f_y}} = \frac{1680}{\sqrt{250}} = 106 \end{aligned}$$

$$\frac{h}{tw} \leq \lambda_p = \frac{1680}{\sqrt{f_y}} \quad (\text{Ok})$$

Penampang kompak

d. Kontrol Lateral Buckling

Profil dengan pengaku disepanjang bentang $L_b = 0$

$$\begin{aligned} L_p &= 1.76 \text{ iy} \sqrt{\frac{E}{f_y}} \\ &= 1.76 \times 3.33 \sqrt{\frac{2 \times 10^6}{2500}} \\ &= 164.275 \text{ cm} \end{aligned}$$

$L_b < L_p$ Bentang pendek $M_n = M_{px}$

$$\begin{aligned} M_n = M_{px} &= Z_x \cdot F_y \\ &= 522.08 \times 2500 \\ &= 1305200 \text{ kgcm} \\ &= 13052 \text{ kgm} \end{aligned}$$

$M_u \leq 0.9 M_{nx}$

$$516.68 \text{ kgm} \leq 11746.80 \text{ kgm} \quad (\text{Ok})$$

e. Kontrol Lateral Buckling

$$\text{Lendutan ijin (f ijin)} = \frac{L}{360} = \frac{290}{360} = 0.806 \text{ cm}$$

$$\begin{aligned} f^o &= \frac{5}{48} \frac{(q_d + q_l) \cdot L^4}{EI_x} + \frac{23}{648} \frac{P \cdot L^3}{EI_x} \\ &= \frac{5}{48} \frac{(55.503 + 122.11) \cdot 130^4}{2 \times 10^6 \times 7210} + \frac{23}{648} \frac{2146.36 \times 290^3}{2 \times 10^6 \times 7210} \\ &= 0.495 \text{ cm} \end{aligned}$$

$f^o \leq f_{\text{ijin}}$

$$0.495 \text{ cm} \leq 0.806 \text{ cm} \quad (\text{Ok})$$

4.3 Perencanaan Balok Anak

4.3.1 Perencanaan Balok Anak Lantai Atap (BA1)

Direncanakan memakai WF 400x200x7x11, dengan data sebagai berikut:

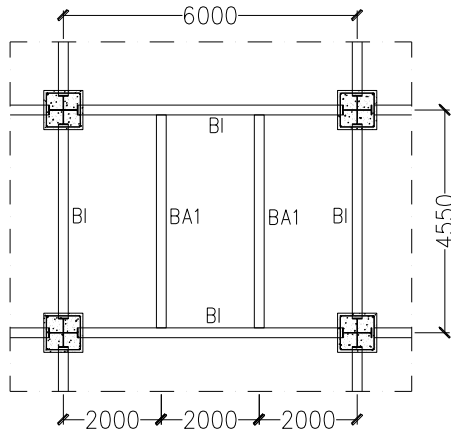
$$\begin{array}{llll} W &= 21.3 & \text{kg/m} & r = 11 \text{ mm} & S_y &= 41 \text{ cm}^3 \\ A &= 27.16 & \text{cm} & i_x = 8.24 \text{ cm} & Z_x &= 184 \text{ cm}^3 \end{array}$$

$$\begin{array}{llll}
 b & = 100 & \text{mm} & i_y = 2.22 \text{ cm} & Z_y = 26.8 \text{ cm}^3 \\
 d & = 200 & \text{mm} & I_x = 1840 \text{ cm}^4 & h = 167 \text{ mm} \\
 t_f & = 5.5 & \text{mm} & I_y = 134 \text{ cm}^4 & \\
 t_w & = 8 & \text{mm} & S_x = 200 \text{ cm}^3 &
 \end{array}$$

$$\begin{array}{ll}
 \text{BJ 41 : } f_y = 2500 \text{ kg/cm}^2 & f_r = 700 \text{ kg/cm}^2 \\
 & f_u = 4100 \text{ kg/cm}^2
 \end{array}$$

$$\begin{array}{ll}
 \text{Beton : } f'_c = 300 \text{ kg/cm}^2 & \text{tebal pelat} = 9 \text{ cm} \\
 & h_r = 5.3 \text{ cm} & t_b = 3.7 \text{ cm}
 \end{array}$$

Panjang Balok Anak(L) = 455 cm



Gambar 4. 13 Denah Balok Anak Atap (BA1)

a. Kondisi Sebelum Komposit

Beban mati:

$$\text{Pelat bondek} = 10.1 \times 2 = 20.20 \text{ kg/m}$$

$$\text{Pelat beton} = 0.09 \times 2 \times 2400 = 432 \text{ kg/m}$$

$$\text{Balok anak} = 56.80 \text{ kg/m} +$$

$$= 509 \text{ kg/m}$$

$$\text{Sambungan} = 10\% \times 509 = 50.90 \text{ kg/m} +$$

$$= 559.90 \text{ kg/m}$$

b. Momen Berfaktor

$$q_u = 1.2q_d + 1.6q_l$$

$$= (1.2 \times 559.90) + (1.6 \times 0)$$

$$= 671.880 \text{ kg/m}$$

$$\begin{aligned}
 M_u &= 1/8 \text{ qu } L^2 \\
 &= 1/8 \times 671.880 \times 4.55^2 \\
 &= 1738.669 \text{ kgm} \\
 V_u &= 1/2 \text{ qu } L \\
 &= 1/2 \times 671.880 \times 4.55 \\
 &= 1528.527 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

c. Kontrol Penampang

- kontrol sayap

$$\begin{aligned}
 \frac{b_f}{2t_f} &= \frac{199}{22} = 9.045 \\
 \lambda_p &= \frac{170}{\sqrt{f_y}} = \frac{170}{\sqrt{250}} = 10.752 \\
 \frac{b_f}{2t_f} &\leq \lambda_p = \frac{170}{\sqrt{f_y}} \quad (\text{Ok})
 \end{aligned}$$
- kontrol badan

$$\begin{aligned}
 \frac{h}{t_w} &= \frac{342}{7} = 49 \\
 \lambda_p &= \frac{1680}{\sqrt{f_y}} = \frac{1680}{\sqrt{250}} = 106 \\
 \frac{h}{t_w} &\leq \lambda_p = \frac{1680}{\sqrt{f_y}} \quad (\text{Ok})
 \end{aligned}$$

Penampang kompak

$$\begin{aligned}
 M_n &= M_p = F_y \cdot Z_x \\
 M_n &= 2500 \times 1010 \\
 &= 2525000 \text{ kgcm} \\
 &= 25250 \text{ kgm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \phi_b M_n &\geq M_u \rightarrow \phi = 0.9 \\
 22725 \text{ kgm} &\geq 1738.669 \text{ kgm} \quad (\text{Ok})
 \end{aligned}$$

d. Kontrol Lateral Buckling

$$L_b = 14 \text{ cm}$$

$$L_p = 1.76 \text{ iy } \sqrt{\frac{E}{f_y}}$$

$$= 1.76 \times 4.48 \times \sqrt{\frac{2 \times 10^6}{2500}}$$

$$= 223.016 \text{ cm}$$

$L_b \leq L_p$, Keadaan batas dari tekuk lateral tidak boleh digunakan

e. Kontrol Geser

$$V_n = 0.6 F_y A_w C_v$$

$$\frac{h}{t_w} = \frac{342}{7}$$

$$= 48.857$$

$$2.24 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 2.24 \sqrt{\frac{2 \times 10^6}{2500}} = 63.357$$

$$V_n = 0.6 \times 2500 \times 27.72 \times 1 \quad \text{SNI 1729:2015 Pasal G2.1}$$

$$= 41580 \text{ kg}$$

$$\phi_v V_n \geq V_u \rightarrow \phi = 1$$

$$\phi_v V_n \geq V_u$$

$$41580 \text{ kg} \geq 1528.527 \text{ kg} \quad (\text{Ok})$$

f. Kontrol Lendutan

$$\text{Lendutan ijin (f)} = \frac{L}{\frac{240}{455}}$$

$$= \frac{240}{455}$$

$$= 1.896 \text{ cm}$$

$$f^o = \frac{5}{384} \frac{qL^4}{EI_x}$$

$$f^o = \frac{5}{384} \frac{(qD + qL) L^4}{EI_x}$$

$$= \frac{5}{384} \frac{(5.6 + 0) \times 455^4}{2 \times 10^6 \times 2 \times 10^4}$$

$$= 0.078 \text{ cm}$$

$$f^o = 0.078 \text{ cm} \leq 1.896 \text{ cm} \quad (\text{Ok})$$

g. Kondisi Setelah Komposit

1. Beban mati:

$$\text{Pelat bondek} = 10.1 \times 2$$

$$= 20.20 \text{ kg/m}$$

$$\begin{array}{rcl}
\text{Pelat beton} & = 0.09 \times 2 \times 2400 & = 432 \text{ kg/m} \\
\text{Balok anak} & = & = 56.80 \text{ kg/m} \\
\text{Perpipaan} & = 25 \times 2 & = 50 \text{ kg/m} \\
\text{Rangka+ plafond} & = 7 \times 11 & = 77 \text{ kg/m+} \\
& & = 636 \text{ kg/m} \\
\text{Sambungan} & = 10\% \times 636 & = 63.60 \text{ kg/m+} \\
& & = 699.600 \text{ kg/m}
\end{array}$$

2. Beban hidup:

Atap (SNI 1727:2013 Tabel 4-1)

$$\begin{aligned}
&= 0.96 \text{ kN/m}^2 \\
&= 97.89 \text{ kg/m}^2 \times 2 \text{ m} \\
&= 195.784 \text{ kg/m}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
q_u &= 1.2q_d + 1.6q_l \\
&= 1.2 \times 699.60 + 1.6 \times 195.78 \\
&= 1152.774 \text{ kg/m}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
M_u &= 1/8 q_u L^2 \\
&= 1/8 \times 1152.77 \times 4.55^2 \\
&= 2983.164 \text{ kgm}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
V_u &= 1/8 q_u L \\
&= 1/8 \times 1152.77 \times 4.55 \\
&= 2622.561 \text{ kg}
\end{aligned}$$

h. Menghitung Momen Nominal

- Lebar efektif

$$\begin{array}{rcl}
B_{eff} \leq 1/4L & = 113.75 \text{ cm} \\
B_{eff} \leq S & = 300 \text{ cm}
\end{array}
\left. \vphantom{\begin{array}{rcl} B_{eff} \leq 1/4L & = 113.75 \text{ cm} \\ B_{eff} \leq S & = 300 \text{ cm} \end{array}} \right\} 114 \text{ cm}$$

SNI 1729:2015 Pasal I3.2.2a

$$\begin{aligned}
h/t_w &= 48.857 \\
3.79 \sqrt{\frac{E}{F_y}} &= 3.79 \sqrt{\frac{2 \times 10^5}{250}} = 107.20
\end{aligned}$$

Dianalisa dengan distribusi tegangan plastis

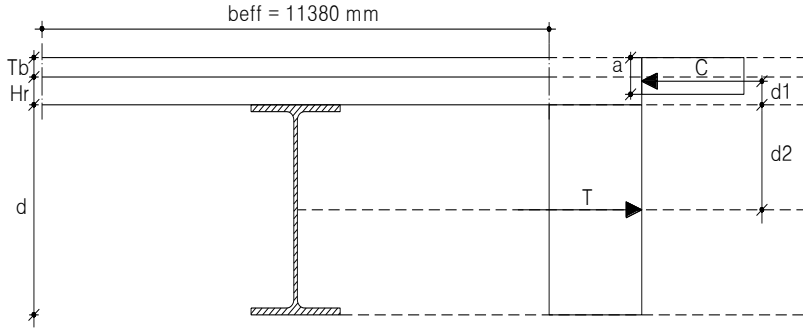
$$\begin{aligned}
C &= 0.85 f'_c t_{\text{pelat}} B_{eff} \\
&= 0.85 \times 300 \times (9 - 5.3) \times 114 \\
&= 107323 \text{ kg (menentukan)}
\end{aligned}$$

$$T = A_s F_y$$

$$= 72.16 \times 2500$$

$$= 180400 \text{ kg}$$

$T > C$, maka garis netral terletak pada profil



Gambar 4. 14 Gaya yang bekerja pada balok anak komposit

$$a = \frac{T}{0.85 f'_c b_{eff}}$$

$$= \frac{180400}{0.85 \times 300 \times 113.8}$$

$$= \frac{29006.25}{180400}$$

$$= 6.219 \text{ cm}$$

$$d2 = \frac{T - C}{b \cdot 2 \cdot f_y}$$

$$= \frac{180400 - 107323}{19.9 \times 2 \times 2500}$$

$$= 0.734 \text{ cm}$$

$$Mn = T \left(\frac{d}{2} - d2 \right) + \left(\frac{t_{beton}}{2} + Hr + d2 \right)$$

$$= 180400 \left(\frac{39.6}{2} - 0.734 \right) + \left(\frac{3.7}{2} + 5.7 + 0.734 \right)$$

$$= 3439426.852 + 846182.842$$

$$= 4285609.69 \text{ kgcm}$$

$$= 42856.07 \text{ kgm}$$

$$\begin{aligned}\phi M_n &\geq M_u \rightarrow \phi = 0.9 \\ 0.9 \times 42856.07 \text{ kgm} &\geq 2983.164 \text{ kgm} \\ 38570 \text{ kgm} &\geq 2983.164 \text{ kgm} \quad (\text{Ok})\end{aligned}$$

i. Kontrol Lendutan

$$\begin{aligned}E_c &= 0.043 \times W_c^{1.5} \sqrt{f'_c} \\ &= 0.043 \times 2400^{1.5} \sqrt{30} \\ &= 27691.466 \text{ MPa}\end{aligned}$$

$$E_s = 200000$$

$$\begin{aligned}n &= \frac{E_s}{E_c} \\ &= \frac{200000}{27691.466} \\ &= 7.222\end{aligned}$$

$$b_{eff} = 113.8 \text{ cm}$$

$$\begin{aligned}b_{tr} &= \frac{b_{eff}}{n} \\ &= \frac{113.8}{7.222} \\ &= 15.750 \text{ cm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}A_{tr} &= b_{tr} \times t_{pelat} \\ &= 15.750 \times 3.7 \\ &= 58.273 \text{ cm}^2\end{aligned}$$

- Menentukan garis netral

$$\begin{aligned}Y_{na} &= \frac{\left[A_{tr} \times \frac{t_{pelat}}{2} \right] + \left[A_s \left(t_{pelat} + h_r + \frac{d}{2} \right) \right]}{(A_{tr} + A_s)} \\ &= \frac{\left[58.273 \times \frac{3.7}{2} \right] + \left[72.16 \left(3.7 + 5.3 + \frac{39.6}{2} \right) \right]}{(58.273 + 72.16)} \\ &= \frac{107.805 + 2078.208}{130.433} \\ &= 16.760 \text{ cm (dari atas)}\end{aligned}$$

- Menentukan Nilai Momen Inersia

$$I_{tr} = \left[\left(\frac{1}{12} \times b_{tr} \times t_{pelat}^3 \right) + A_{tr} \left(Y_{na} - \frac{t_{pelat}}{2} \right)^2 \right] +$$

$$\begin{aligned}
& \left[I_x + A_s \left(\left(t_{\text{pelat}} + h_r + \frac{d}{2} \right) - Y_{na} \right)^2 \right] \\
&= 66.480 + 16368.10 + 22410.45 \\
&= 38845.026 \\
f_{\text{ijin}} &= \frac{L}{\frac{240}{455}} \\
&= \frac{240}{1.896} \text{ cm} \\
&= 1.896 \text{ cm} \\
f^o &= \frac{5 \times (q_d + q_l) \times L^4}{348 \times E \times I_{tr}} \\
&= \frac{5 \times (6.996 + 1.96) \times 455^4}{348 \times 2 \times 10^6 \times 38845.026} \\
&= 0.071 \text{ cm} \\
f_{\text{ijin}} &\geq f^o \\
1.896 \text{ cm} &\geq 0.071 \text{ cm} \quad (\text{Ok})
\end{aligned}$$

j. Kontrol Geser

$$\begin{aligned}
V_n &= 0.6 F_y A_w C_v \\
&= 0.6 \times 250 \times 39.6 \times 0.7 \times 1 \\
&= 4158 \text{ kg}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\frac{h}{t_w} &= \frac{342}{7} \\
&= 48.857 \text{ mm}
\end{aligned}$$

$$2.24 \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 2.24 \sqrt{\frac{2 \times 10^5}{250}} = 63.357$$

$$\begin{aligned}
\phi_v V_n &\geq V_u \rightarrow \phi = 1 \\
1 \times 41580 \text{ kg} &\geq 2622.561 \text{ kg} \\
41580 \text{ kg} &\geq 2622.561 \text{ kg} \quad (\text{Ok})
\end{aligned}$$

4.3.2 Perencanaan Penghubung Geser

Direncanakan penghubung geser yang dipakai adalah tipe stud, dengan data sebagai berikut:

$$d_s = 16 \text{ mm}$$

$$A_{sc} = 201.06 \text{ mm}^2$$

$$f_u = 410 \text{ MPa} = 41 \text{ kg/mm}^2$$

$$\begin{aligned} E_c &= 0.043 \times W_c^{1.5} \sqrt{f_c'} \\ &= 0.043 \times 2400^{1.5} \sqrt{30} \\ &= 27691.466 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Q_n &= 0.5 A_{sc} \sqrt{f_c' E_c} \leq R_g R_p A_{sc} F_u \\ &= 0.5 \times 201.06 \sqrt{30 \times 27691.466} \\ &= 9162.911 \text{ kg/stud} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} R_g R_p A_{sc} F_u &= 1 \times 0.75 \times 201.06 \times 41 \\ &= 6182.654 \text{ kg/stud (menentukan)} \end{aligned}$$

Jumlah penghubung geser:

$$\begin{aligned} N &= \frac{V'}{Q_n} = \frac{180400}{6182.654} \\ &= 29.178 \approx 30 \text{ buah} \end{aligned}$$

maka kebutuhan total adalah 60 buah

Jika dipasang 2 stud per tampang melintang maka jarak (S) adalah:

$$S = \frac{455}{(60 + 4) \times 0.5} = 142 \text{ mm}$$

Jarak stud melintang:

$$S = 4D = 4 \times 16 = 64 \text{ mm}$$

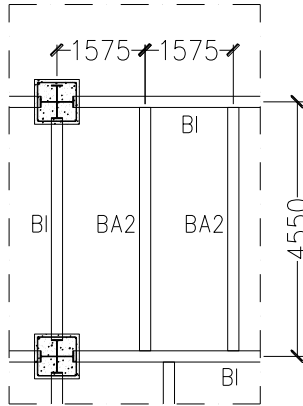
Jadi penghubung geser dipasang setiap jarak 14 cm , sekaligus berfungsi sebagai penahan lateral pada balok.

4.3.3 Perencanaan Balok Anak Lantai Atap (BA2)

Direncanakan memakai WF 400x200x7x11, dengan data sebagai berikut:

W	= 21.3	kg/m	r	= 11	mm	Sy	= 41	cm ³
A	= 27.16	cm	ix	= 8.24	cm	Zx	= 184	cm ³
b	= 100	mm	iy	= 2.22	cm	Zy	= 26.8	cm ³
d	= 200	mm	Ix	= 1840	cm ⁴	h	= 167	mm
tf	= 5.5	mm	Iy	= 134	cm ⁴			
tw	= 8	mm	Sx	= 200	cm ³			
BJ 41 :			fy	= 2500	kg/cm ²	fr	= 700	kg/cm ²
			fu	= 4100	kg/cm ²			
Beton :			f'c	= 300	kg/cm ²			tebal pelat = 9 cm

$h_r = 5.3 \text{ cm}$ $t_b = 3.7 \text{ cm}$
 Panjang Balok Anak(L) = 455 cm



Gambar 4. 15 Denah Balok Anak Atap (BA2)

a. Kondisi Sebelum Komposit

Beban mati:

Pelat bondek = 10.1×1.575 = 15.91 kg/m

Pelat beton = $0.09 \times 1.574 \times 2400$ = 340 kg/m

Balok anak = = 56.80 kg/m +

= 413 kg/m

Sambungan = $10\% \times 509$ = 41.29 kg/m +

= 454.20 kg/m

b. Momen Berfaktor

$q_u = 1.2 q_d + 1.6 q_l$

= $(1.2 \times 454.20) + (1.6 \times 0)$

= 545.038 kg/m

$M_u = 1/8 q_u L^2$

= $1/8 \times 545.038 \times 4.55^2$

= 1410.456 kgm

$V_u = 1/2 q_u L$

= $1/2 \times 545.038 \times 4.55$

= 1239.961 kg

c. Kontrol Penampang

- kontrol sayap

$$\frac{b_f}{2t_f} = \frac{199}{22} = 9.045$$

$$\lambda_p = \frac{170}{\sqrt{f_y}} = \frac{170}{\sqrt{250}} = 10.752$$

$$\frac{b_f}{2t_f} \leq \lambda_p = \frac{170}{\sqrt{f_y}} \quad (\text{Ok})$$

- kontrol badan

$$\frac{h}{t_w} = \frac{342}{7} = 49$$

$$\lambda_p = \frac{1680}{\sqrt{f_y}} = \frac{1680}{\sqrt{250}} = 106$$

$$\frac{h}{t_w} \leq \lambda_p = \frac{1680}{\sqrt{f_y}} \quad (\text{Ok})$$

Penampang kompak

$$M_n = M_p = F_y \cdot Z_x$$

$$M_n = 2500 \times 1010$$

$$= 2525000 \text{ kgcm}$$

$$= 25250 \text{ kgm}$$

$$\phi_b M_n \geq M_u \rightarrow \phi = 0.9$$

$$0.9 \times 25250 \text{ kgm} \geq 1410.456 \text{ kgm}$$

$$22725 \text{ kgm} \geq 1410.456 \text{ kgm} \quad (\text{Ok})$$

Kontrol Lateral Buckling

$$L_b = 14 \text{ cm}$$

$$L_p = 1.76 \text{ iy} \sqrt{\frac{E}{f_y}}$$

$$= 1.76 \times 4.48 \times \sqrt{\frac{2 \times 10^6}{2500}}$$

$$= 233.016 \text{ cm}$$

$L_b \leq L_p$, Keadaan batas dari tekuk lateral tidak boleh digunakan

d. Kontrol Geser

$$V_n = 0.6 F_y A_w C_v$$

$$\frac{h}{t_w} = \frac{342}{7}$$

$$= 48.857$$

$$2.24 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 2.24 \sqrt{\frac{2 \times 10^6}{2500}} = 63.357$$

$$V_n = 0.6 \times 2500 \times 27.72 \times 1 \quad \text{SNI 1729:2015 Pasal G2.1}$$

$$= 41580 \text{ kg}$$

$$\phi_v V_n \geq V_u \rightarrow \phi = 1$$

$$1 \times 41580 \text{ kg} \geq 1239.961 \text{ kg}$$

$$41580 \text{ kg} \geq 1239.961 \text{ kg} \quad (\text{Ok})$$

e. Kontrol Lendutan

$$\text{Lendutan ijin (f)} = \frac{L}{\frac{240}{455}}$$

$$= \frac{240}{455}$$

$$= 1.896 \text{ cm}$$

$$f^{\circ} = \frac{5}{384} \frac{qL^4}{EI_x}$$

$$f^{\circ} = \frac{5}{384} \frac{(qD + qL) L^4}{EI_x}$$

$$= \frac{5}{384} \frac{(5.6 + 0) 455^4}{2 \times 10^6 \times 2 \times 10^4}$$

$$= 0.063 \text{ cm}$$

$$f^{\circ} = 0.063 \text{ cm} \leq 1.896 \text{ cm} \quad (\text{Ok})$$

f. Kondisi Setelah Komposit

1. Beban mati:

$$\text{Pelat bondek} = 10.1 \times 1.575 = 15.91 \text{ kg/m}$$

$$\text{Pelat beton} = 0.09 \times 1.575 \times 2400 = 340 \text{ kg/m}$$

$$\text{Balok anak} = = 56.80 \text{ kg/m}$$

$$\text{Perpipaan} = 25 \times 1.575 = 39 \text{ kg/m}$$

$$\text{Rangka+ plafond} = 7 \times 11 = 77 \text{ kg/m+}$$

$$= 529 \text{ kg/m}$$

$$\text{Sambungan} = 10\% \times 636 = 52.93 \text{ kg/m+}$$

$$= 582.211 \text{ kg/m}$$

2. Beban hidup:
 Atap (SNI 1727:2013 Tabel 4-1)
 $= 0.96 \text{ kN/m}^2$
 $= 97.89 \text{ kg/m}^2 \times 1.575 \text{ m}$
 $= 154.180 \text{ kg/m}$
 $q_u = 1.2q_d + 1.6q_l$
 $= 1.2 \times 582.21 + 1.6 \times 154.18$
 $= 945.341 \text{ kg/m}$
 $M_u = 1/8 q_u L^2$
 $= 1/8 \times 945.34 \times 4.55^2$
 $= 2446.36 \text{ kgm}$
 $V_u = 1/2 q_u L$
 $= 1/2 \times 945.34 \times 4.55$
 $= 2150.650 \text{ kg}$

g. Menghitung Momen Nominal

- Lebar efektif

$B_{eff} \leq 1/4L = 113.75 \text{ cm}$	}	114 cm
$B_{eff} \leq S = 300 \text{ cm}$		

SNI 1729:2015 Pasal I3.2.2a

$$h/t_w = 48.86$$

$$3.79 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 3.79 \sqrt{\frac{2 \times 10^5}{250}} = 107.20$$

Dianalisa dengan distribusi tegangan plastis

$$C = 0.85 f'_c t_{\text{pelat}} B_{eff}$$

$$= 0.85 \times 300 \times (9 + 5.3) \times 114$$

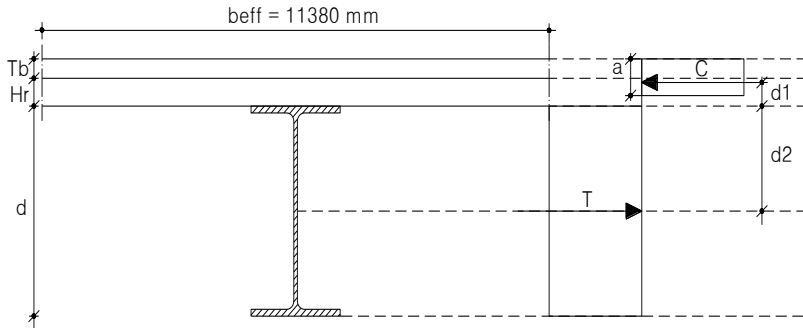
$$= 107323 \text{ kg (menentukan)}$$

$$T = A_s F_y$$

$$= 72.16 \times 2500$$

$$= 180400 \text{ kg}$$

$T > C$, maka garis netral terletak pada profil



Gambar 4. 16 Gaya yang bekerja pada balok anak komposit

$$a = \frac{T}{0.85 f'_c b_{\text{eff}}}$$

$$= \frac{180400}{0.85 \times 300 \times 113.8}$$

$$= \frac{29006.25}{180400}$$

$$= 6.219 \text{ cm}$$

$$d2 = \frac{T - C}{b \cdot 2 f_y}$$

$$= \frac{180400 - 107323}{19.9 \times 2 \times 2500}$$

$$= 0.734 \text{ cm}$$

$$\begin{aligned} Mn &= T \left(\frac{d}{2} - d2 \right) + \left(\frac{t_{\text{beton}}}{2} + Hr + d2 \right) \\ &= 180400 \left(\frac{39.6}{2} - 0.734 \right) + \left(\frac{3.7}{2} + 5.7 + 0.734 \right) \\ &= 3439426.852 + 846182.842 \\ &= 4285609.69 \text{ kgcm} \\ &= 42856.07 \text{ kgm} \end{aligned}$$

$$\phi Mn \geq Mu \rightarrow \phi = 0.9$$

$$0.9 \times 42856.07 \text{ kgm} \geq 2446.36 \text{ kgm}$$

$$38570 \text{ kgm} \geq 2446.36 \text{ kgm} \quad (\text{Ok})$$

h. Kontrol Lendutan

$$\begin{aligned}
 E_c &= 0.043 \times W_c^{1.5} \sqrt{f_c'} \\
 &= 0.043 \times 2400^{1.5} \sqrt{30} \\
 &= 27691.466 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

$$E_s = 200000$$

$$\begin{aligned}
 n &= \frac{E_s}{E_c} \\
 &= \frac{200000}{27691.466} \\
 &= 7.222
 \end{aligned}$$

$$b_{eff} = 113.8 \text{ cm}$$

$$\begin{aligned}
 b_{tr} &= \frac{b_{eff}}{n} \\
 &= \frac{113.8}{7.222} \\
 &= 15.750 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_{tr} &= b_{tr} \times t_{pelat} \\
 &= 15.750 \times 3.7 \\
 &= 58.273 \text{ cm}^2
 \end{aligned}$$

- Menentukan garis netral

$$\begin{aligned}
 Y_{na} &= \frac{\left[A_{tr} \times \frac{t_{pelat}}{2} \right] + \left[A_s \left(t_{pelat} + h_r + \frac{d}{2} \right) \right]}{(A_{tr} + A_s)} \\
 &= \frac{\left[58.273 \times \frac{3.7}{2} \right] + \left[72.16 \left(3.7 + 5.3 + \frac{39.6}{2} \right) \right]}{(58.273 + 72.16)} \\
 &= \frac{107.805 + 2078.208}{130.433} \\
 &= 16.760 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

- Menentukan Nilai Momen Inersia

$$\begin{aligned}
 I_{tr} &= \left[\left(\frac{1}{12} \times b_{tr} \times t_{pelat}^3 \right) + A_{tr} \left(Y_{na} - \frac{t_{pelat}}{2} \right)^2 \right] + \\
 &\quad \left[I_x + A_s \left(\left(t_{pelat} + h_r + \frac{d}{2} \right) - Y_{na} \right)^2 \right] \\
 &= 66.480 + 12953 + 30461.06 \\
 &= 43481.520
 \end{aligned}$$

$$f_{ijin} = \frac{L}{\frac{240}{455}}$$

$$= \frac{240}{455}$$

$$= 1.896 \text{ cm}$$

$$f^o = \frac{5 \times (q_d + q_l) \times L^4}{348 \times E \times I_{tr}}$$

$$= \frac{5 \times (5.82 + 1.54) \times 455^4}{348 \times 2 \times 10^6 \times 43481.520}$$

$$= 0.0521 \text{ cm}$$

$$f_{ijin} \geq f^o$$

$$1.896 \text{ cm} \geq 0.0521 \text{ cm}$$

i. Kontrol Geser

$$V_n = 0.6 F_y A_w C_v$$

$$= 0.6 \times 2500 \times 39.6 \times 0.7 \times 1$$

$$= 41580 \text{ kg}$$

$$\frac{h}{t_w} = \frac{342}{7}$$

$$= 48.857 \text{ kg}$$

$$2.24 \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 2.24 \sqrt{\frac{2 \times 10^5}{250}} = 63.357$$

$$\phi_v V_n \geq V_u \rightarrow \phi = 1$$

$$1 \times 41580 \text{ kg} \geq 2150.65 \text{ kg}$$

$$41580 \text{ kg} \geq 2150.65 \text{ kg} \quad (\text{Ok})$$

4.3.4 Perencanaan Penghubung Geser

Direncanakan penghubung geser yang dipakai adalah tipe stud, dengan data sebagai berikut:

$$d_s = 16 \text{ mm}$$

$$A_{sc} = 201.06 \text{ mm}^2$$

$$f_u = 410 \text{ MPa} = 41 \text{ kg/mm}^2$$

$$E_c = 0.043 \times W_c^{1.5} \sqrt{f_c'}$$

$$= 0.043 \times 2400^{1.5} \sqrt{30}$$

$$= 27691.466 \text{ MPa}$$

$$Q_n = 0.5 A_{sc} \sqrt{f'_c E_c} \leq R_g R_p A_{sc} F_u$$

$$= 0.5 \times 201.06 \sqrt{30 \times 27691.466}$$

$$= 9162.911 \text{ kg/stud}$$

$$R_g R_p A_{sc} F_u = 1 \times 0.75 \times 201.06 \times 41$$

$$= 6182.654 \text{ kg/stud (menentukan)}$$

Jumlah penghubung geser:

$$N = \frac{V'}{Q_n} = \frac{180400}{6182.654}$$

$$N = 29.178 \approx 30 \text{ buah}$$

maka kebutuhan total adalah 60 buah

Jika dipasang 2 stud per tampang melintang maka jarak (S) adalah:

$$S = \frac{455}{(60 + 4) \times 0.5} = 142 \text{ mm}$$

Jarak stud melintang:

$$S = 4D = 4 \times 16 = 64 \text{ mm}$$

Jadi penghubung geser dipasang setiap jarak 14 cm , sekaligus berfungsi sebagai penahan lateral pada balok.

4.3.5 Perencanaan Balok Anak Lantai Atap (BA3)

Direncanakan memakai WF 400x200x7x11, dengan data sebagai berikut:

$$W = 21.3 \text{ kg/m} \quad r = 11 \text{ mm} \quad S_y = 41 \text{ cm}^3$$

$$A = 27.16 \text{ cm} \quad i_x = 8.24 \text{ cm} \quad Z_x = 184 \text{ cm}^3$$

$$b = 100 \text{ mm} \quad i_y = 2.22 \text{ cm} \quad Z_y = 26.8 \text{ cm}^3$$

$$d = 200 \text{ mm} \quad I_x = 1840 \text{ cm}^4 \quad h = 167 \text{ mm}$$

$$t_f = 5.5 \text{ mm} \quad I_y = 134 \text{ cm}^4$$

$$t_w = 8 \text{ mm} \quad S_x = 200 \text{ cm}^3$$

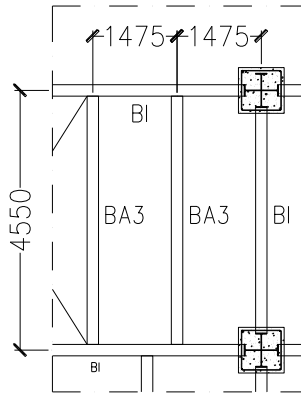
$$B J 41 : f_y = 2500 \text{ kg/cm}^2 \quad f_r = 700 \text{ kg/cm}^2$$

$$f_u = 4100 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{Beton : } f'_c = 300 \text{ kg/cm}^2 \quad \text{tebal pelat} = 9 \text{ cm}$$

$$h_r = 5.3 \text{ cm} \quad t_b = 3.7 \text{ cm}$$

$$\text{Panjang Balok Anak(L)} = 455 \text{ cm}$$



Gambar 4. 17 Denah Balok Anak Atas (BA3)

a. Kondisi Sebelum Komposit

Beban mati:

$$\text{Pelat bondek} = 10.1 \times 1.475 = 14.90 \text{ kg/m}$$

$$\text{Pelat beton} = 0.09 \times 1.475 \times 2400 = 319 \text{ kg/m}$$

$$\text{Balok anak} = \underline{56.80 \text{ kg/m} +}$$

$$= 390 \text{ kg/m}$$

$$\text{Sambungan} = 10\% \times 390 = \underline{39.03 \text{ kg/m} +}$$

$$= 429.33 \text{ kg/m}$$

b. Momen Berfaktor

$$\begin{aligned} q_u &= 1.2q_d + 1.6q_l \\ &= (1.2 \times 507.207) + (1.6 \times 0) \\ &= 515.193 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_u &= 1/8 q_u L^2 \\ &= 1/8 \times 515.193 \times 4.55^2 \\ &= 1333.222 \text{ kgm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_u &= 1/2 q_u L \\ &= 1/2 \times 515.193 \times 4.55 \\ &= 1172.063 \text{ kg} \end{aligned}$$

c. Kontrol Penampang

- kontrol sayap

$$\frac{b_f}{2t_f} = \frac{199}{22} = 9.045$$

$$\lambda_p = \frac{170}{\sqrt{f_y}} = \frac{170}{\sqrt{250}} = 10.752$$

$$\frac{b_f}{2t_f} \leq \lambda_p = \frac{170}{\sqrt{f_y}} \quad (\text{Ok})$$

- kontrol badan

$$\frac{h}{t_w} = \frac{342}{7} = 49$$

$$\lambda_p = \frac{1680}{\sqrt{f_y}} = \frac{1680}{\sqrt{250}} = 106$$

$$\frac{h}{t_w} \leq \lambda_p = \frac{1680}{\sqrt{f_y}} \quad (\text{Ok})$$

Penampang kompak

$$M_n = M_p = F_y \cdot Z_x$$

$$M_n = 2500 \times 1010$$

$$= 2525000 \text{ kgcm}$$

$$= 25250 \text{ kgm}$$

$$\phi_b M_n \geq M_u \rightarrow \phi = 0.9$$

$$22725 \text{ kgm} \geq 1333.222 \text{ kgm} \quad (\text{Ok})$$

d. Kontrol Lateral Buckling

$$L_b = 14 \text{ cm}$$

$$L_p = 1.76 \text{ iy} \sqrt{\frac{E}{f_y}}$$

$$= 1.76 \times 4.48 \times \sqrt{\frac{2 \times 10^6}{2500}}$$

$$= 233.016 \text{ cm}$$

$L_b \leq L_p$, Keadaan batas dari tekuk lateral tidak boleh digunakan

e. Kontrol Geser

$$V_n = 0.6 F_y A_w C_v$$

$$\frac{h}{t_w} = \frac{342}{7}$$

$$= 48.857$$

$$2.24 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 2.24 \sqrt{\frac{2 \times 10^6}{2500}} = 63.357$$

$$V_n = 0.6 \times 2500 \times 27.72 \times 1 \quad \text{SNI 1729:2015 Pasal G2.1} \\ = 41580 \text{ kg}$$

$$\phi_v V_n \geq V_u \rightarrow \phi = 0.9$$

$$\phi_v V_n \geq V_u$$

$$1 \times 41580 \text{ kg} \geq 1172.063 \text{ kg}$$

$$41580 \text{ kg} \geq 1172.063 \text{ kg} \quad (\text{Ok})$$

f. Kontrol Lendutan

$$\text{Lendutan ijin (f)} = \frac{L}{\frac{240}{455}} \\ = \frac{240}{455} \\ = 1.896 \text{ cm}$$

$$f^\circ = \frac{5}{384} \frac{qL^4}{EI_x}$$

$$f^\circ = \frac{5}{384} \frac{(qD + qL) L^4}{EI_x} \\ = \frac{5}{384} \frac{(5.6 + 0) 455^4}{2 \times 10^6 \times 2 \times 10^4} \\ = 0.060 \text{ cm}$$

$$f^\circ = 0.060 \text{ cm} \leq 1.896 \text{ cm} \quad (\text{Ok})$$

g. Kondisi Setelah Komposit

1. Beban mati:

$$\text{Pelat bondek} = 10.1 \times 1.475 = 14.90 \text{ kg/m}$$

$$\text{Pelat beton} = 0.09 \times 1.475 \times 2400 = 319 \text{ kg/m}$$

$$\text{Balok anak} = 56.80 \text{ kg/m}$$

$$\text{Perpipaan} = 25 \times 1.475 = 37 \text{ kg/m}$$

$$\text{Rangka+ plafond} = 7 \times 11 = 77 \text{ kg/m+}$$

$$= 504 \text{ kg/m}$$

$$\text{Sambungan} = 10\% \times 504 = 50.42 \text{ kg/m+}$$

$$= 554.59 \text{ kg/m}$$

2. Beban hidup:
 Atap (SNI 1727:2013 Tabel 4-1)
 $= 0.96 \text{ kN/m}^2$
 $= 97.89 \text{ kg/m}^2 \times 1.475 \text{ m}$
 $= 144.391 \text{ kg/m}$
 $q_u = 1.2q_d + 1.6q_l$
 $= 1.2 \times 554.59 + 1.6 \times 144.39$
 $= 896.533 \text{ kg/m}$
 $M_u = 1/8 q_u L^2$
 $= 1/8 \times 896.533 \times 4.55^2$
 $= 2320.058 \text{ kgm}$
 $V_u = 1/8 q_u L$
 $= 1/8 \times 896.533 \times 4.55$
 $= 2039.612 \text{ kg}$

h. Menghitung Momen Nominal

- Lebar efektif

$$\left. \begin{array}{l} B_{eff} \leq 1/4L = 113.75 \text{ cm} \\ B_{eff} \leq S = 300 \text{ cm} \end{array} \right\} 114 \text{ cm}$$

(SNI 1729:2015 Pasal I3.2.2a)

$$h/t_w = 48.86$$

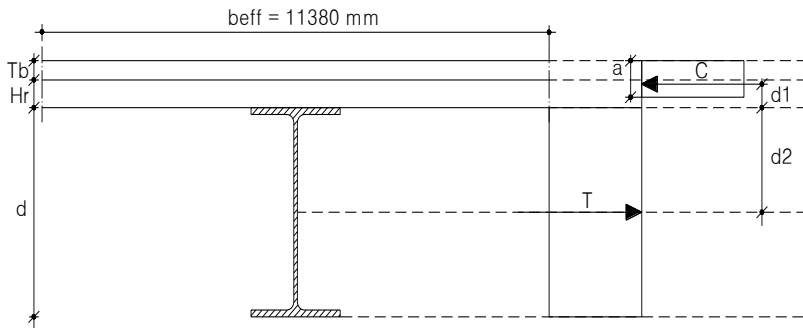
$$3.79 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 3.79 \sqrt{\frac{2 \times 10^5}{250}} = 107.20$$

Dianalisa dengan distribusi tegangan plastis

$$\begin{aligned} C &= 0.85 f_c' t_{\text{pelat}} B_{eff} \\ &= 0.85 \times 300 \times (9 + 5.3) \times 114 \\ &= 107323 \text{ kg (menentukan)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} T &= A_s F_y \\ &= 72.16 \times 2500 \\ &= 180400 \text{ kg} \end{aligned}$$

$T > C$, maka garis netral terletak pada profil



Gambar 4. 18 Gaya yang bekerja pada balok anak komposit

$$a = \frac{T}{0.85 f'_c b_{\text{eff}}}$$

$$= \frac{180400}{0.85 \times 300 \times 113.8}$$

$$= \frac{29006.25}{180400}$$

$$= 6.219 \text{ cm}$$

$$d2 = \frac{T - C}{b \cdot 2 f_y}$$

$$= \frac{180400 - 107323}{19.9 \times 2 \times 2500}$$

$$= 0.734 \text{ cm}$$

$$Mn = T \left(\frac{d}{2} - d2 \right) + \left(\frac{t_{\text{beton}}}{2} + Hr + d2 \right)$$

$$= 180400 \left(\frac{39.6}{2} - 0.734 \right) + \left(\frac{3.7}{2} + 5.7 + 0.734 \right)$$

$$= 3439426.852 + 846182.842$$

$$= 4285609.69 \text{ kgcm}$$

$$= 42856.097 \text{ kgm}$$

$$\phi Mn \geq Mu \rightarrow \phi = 0.9$$

$$0.9 \times 42856.07 \text{ kgm} \geq 2320.06 \text{ kgm}$$

$$38570 \text{ kgm} \geq 2320.06 \text{ kgm} \quad (\mathbf{Ok})$$

i. Kontrol Lendutan

$$\begin{aligned}
 E_c &= 0.043 \times W_c^{1.5} \sqrt{f_c'} \\
 &= 0.043 \times 2400^{1.5} \sqrt{30} \\
 &= 27691.466 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

$$E_s = 200000$$

$$\begin{aligned}
 n &= \frac{E_s}{E_c} \\
 &= \frac{200000}{27691.466} \\
 &= 7.222
 \end{aligned}$$

$$b_{eff} = 300 \text{ cm}$$

$$\begin{aligned}
 b_{tr} &= \frac{b_{eff}}{n} \\
 &= \frac{113.8}{7.222} \\
 &= 15.750 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_{tr} &= b_{tr} \times t_{pelat} \\
 &= 15.750 \times 3.7 \\
 &= 58.273 \text{ cm}^2
 \end{aligned}$$

- Menentukan garis netral

$$\begin{aligned}
 Y_{na} &= \frac{\left[A_{tr} \times \frac{t_{pelat}}{2} \right] + \left[A_s \left(t_{pelat} + h_r + \frac{d}{2} \right) \right]}{(A_{tr} + A_s)} \\
 &= \frac{\left[58.273 \times \frac{3.7}{2} \right] + \left[72.16 \left(3.7 + 5.3 + \frac{39.6}{2} \right) \right]}{(58.273 + 72.16)} \\
 &= \frac{107.805 + 2078.208}{130.433} \\
 &= 16.760 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

- Menentukan Nilai Momen Inersia

$$\begin{aligned}
 I_{tr} &= \left[\left(\frac{1}{12} \times b_{tr} \times t_{pelat}^3 \right) + A_{tr} \left(Y_{na} - \frac{t_{pelat}}{2} \right)^2 \right] + \\
 &\quad \left[I_x + A_s \left(\left(t_{pelat} + h_r + \frac{d}{2} \right) - Y_{na} \right)^2 \right] \\
 &= 66.480 + 12953.98 + 30461.06 \\
 &= 43481.520
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 f_{ijin} &= \frac{L}{\frac{240}{455}} \\
 &= \frac{240}{455} \\
 &= 1.896 \text{ cm} \\
 f^o &= \frac{5 \times (qd + ql) \times L^4}{348 \times E \times I_{tr}} \\
 &= \frac{5 \times (5.55 + 1.44) \times 455^4}{348 \times 2 \times 10^6 \times 43481.520} \\
 &= 0.0495 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

$$f_{ijin} \geq f^o$$

$$1.896 \text{ cm} \geq 0.0495 \text{ cm}$$

j. Kontrol Geser

$$\begin{aligned}
 V_n &= 0.6 F_y A_w C_v \\
 &= 0.6 \times 2500 \times 39.6 \times 0.7 \times 1 \\
 &= 41580 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \frac{h}{t_w} &= \frac{342}{7} \\
 &= 48.857 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

$$2.24 \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 2.24 \sqrt{\frac{2 \times 10^5}{250}} = 63.357$$

$$\phi_v V_n \geq V_u \rightarrow \phi = 1$$

$$1 \times 41580 \text{ kg} \geq 2320.058 \text{ kg}$$

$$41580 \text{ kg} \geq 2320.058 \text{ kg} \quad (\text{Ok})$$

4.3.6 Perencanaan Penghubung Geser

Direncanakan penghubung geser yang dipakai adalah tipe stud, dengan data sebagai berikut:

$$d_s = 16 \text{ mm}$$

$$A_{sc} = 201.06 \text{ mm}^2$$

$$f_u = 410 \text{ MPa} = 41 \text{ kg/mm}^2$$

$$\begin{aligned}
 E_c &= 0.043 \times W_c^{1.5} \sqrt{f_c'} \\
 &= 0.043 \times 2400^{1.5} \sqrt{30} \\
 &= 27691.466 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

$$Q_n = 0.5 A_{sc} \sqrt{f'_c E_c} \leq R_g R_p A_{sc} F_u$$

$$= 0.5 \times 201.06 \sqrt{30 \times 26403.191}$$

$$= 9162.9106 \text{ kg/stud}$$

$$R_g R_p A_{sc} F_u = 1 \times 0.75 \times 201.06 \times 41$$

$$= 6182.654 \text{ kg/stud (menentukan)}$$

$$N = \frac{V'}{Q_n} = \frac{180400}{6182.654}$$

$$N = 29.178 \approx 30 \text{ buah}$$

Jarak penghubung geser (S)

$$S = \frac{4550}{(60 + 4) \times 0.5} = 142 \text{ mm}$$

Jarak stud melintang:

$$S = 4D = 4 \times 16 = 64 \text{ mm}$$

Jadi penghubung geser dipasang setiap jarak 14 cm , sekaligus berfungsi sebagai penahan lateral pada balok.

4.3.7 Perencanaan Balok Anak Lantai 1-12 Tipikal (BA4)

Direncanakan memakai WF 400x200x7x11, dengan data sebagai berikut:

$$W = 21.3 \text{ kg/m} \quad r = 11 \text{ mm} \quad S_y = 41 \text{ cm}^3$$

$$A = 27.16 \text{ cm} \quad i_x = 8.24 \text{ cm} \quad Z_x = 184 \text{ cm}^3$$

$$b = 100 \text{ mm} \quad i_y = 2.22 \text{ cm} \quad Z_y = 26.8 \text{ cm}^3$$

$$d = 200 \text{ mm} \quad I_x = 1840 \text{ cm}^4 \quad h = 167 \text{ mm}$$

$$t_f = 5.5 \text{ mm} \quad I_y = 134 \text{ cm}^4$$

$$t_w = 8 \text{ mm} \quad S_x = 200 \text{ cm}^3$$

$$\text{BJ 41 : } f_y = 2500 \text{ kg/cm}^2$$

$$f_r = 700 \text{ kg/cm}^2$$

$$f_u = 4100 \text{ kg/cm}^2$$

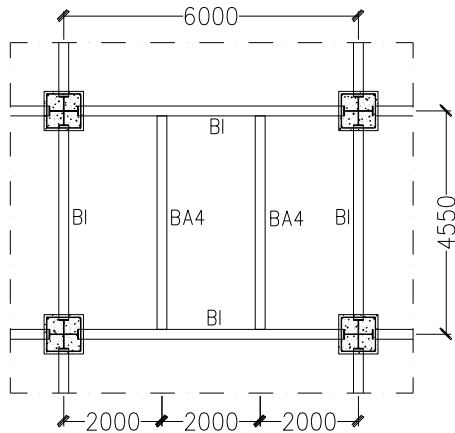
$$\text{Beton : } f'_c = 300 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{tebal pelat} = 9 \text{ cm}$$

$$h_r = 5.3 \text{ cm}$$

$$t_b = 3.7 \text{ cm}$$

$$\text{Panjang Balok Anak(L)} = 455 \text{ cm}$$



Gambar 4. 19 Balok Anak Lantai 1-12 Tipikal (BA4)

a. Kondisi Sebelum Komposit

Beban mati:

Pelat bondek	$= 10.1 \times 2$	$= 20.20 \text{ kg/m}$
Pelat beton	$= 0.09 \times 2 \times 2400$	$= 432 \text{ kg/m}$
Balok anak	$=$	$= 56.80 \text{ kg/m} +$
		$= 509 \text{ kg/m}$
Sambungan	$= 10\% \times 509$	$= 50.90 \text{ kg/m} +$
		$= 559.900 \text{ kg/m}$

b. Momen Berfaktor

$$\begin{aligned}
 q_u &= 1.2q_d + 1.6 q_l \\
 &= (1.2 \times 559.90) + (1.6 \times 0) \\
 &= 671.880 \text{ kg/m} \\
 M_u &= 1/8 q_u L^2 \\
 &= 1/8 \times 671.880 \times 4.55^2 \\
 &= 1738.699 \text{ kgm} \\
 V_u &= 1/2 q_u L \\
 &= 1/2 \times 671.880 \times 4.55^2 \\
 &= 1528.527 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

c. Kontrol Penampang

- kontrol sayap

$$\frac{b_f}{2t_f} = \frac{199}{22} = 9.045$$

$$\lambda_p = \frac{170}{\sqrt{f_y}} = \frac{170}{\sqrt{250}} = 10.752$$

$$\frac{b_f}{2t_f} \leq \lambda_p = \frac{170}{\sqrt{f_y}} \quad (\text{Ok})$$

- kontrol badan

$$\frac{h}{t_w} = \frac{342}{7} = 49$$

$$\lambda_p = \frac{1680}{\sqrt{f_y}} = \frac{1680}{\sqrt{250}} = 106$$

$$\frac{h}{t_w} \leq \lambda_p = \frac{1680}{\sqrt{f_y}} \quad (\text{Ok})$$

Penampang kompak

$$M_n = M_p = F_y \cdot Z_x$$

$$M_n = 2500 \times 1010$$

$$= 2525000 \text{ kgcm}$$

$$= 25250 \text{ kgm}$$

$$\phi_b M_n \geq M_u \rightarrow \phi = 0.9$$

$$0.9 \times 25250 \text{ kgm} \geq 1738.699 \text{ kgm}$$

$$22725 \text{ kgm} \geq 1738.699 \text{ kgm} \quad (\text{Ok})$$

d. Kontrol Lateral Buckling

$$L_b = 14 \text{ cm}$$

$$L_p = 1.76 \text{ iy} \sqrt{\frac{E}{f_y}}$$

$$= 1.76 \times 4.48 \times \sqrt{\frac{2 \times 10^6}{2500}}$$

$$= 233.016 \text{ cm}$$

$L_b \leq L_p$, Keadaan batas dari tekuk lateral tidak boleh digunakan

e. Kontrol Geser

$$V_n = 0.6 F_y A_w C_v$$

$$\frac{h}{t_w} = \frac{342}{7}$$

$$= 48.857$$

$$2.24 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 2.24 \sqrt{\frac{2 \times 10^6}{2500}} = 63.357$$

$$V_n = 0.6 \times 2500 \times 27.72 \times 1 \quad (\text{SNI 1729:2015 Pasal G2.1})$$

$$= 41580 \text{ kg}$$

$$\phi_v V_n \geq V_u \rightarrow \phi = 1$$

$$\phi_v V_n \geq V_u$$

$$1 \times 41580 \text{ kg} \geq 1528.527 \text{ kg}$$

$$41580 \text{ kg} \geq 1528.527 \text{ kg} \quad (\mathbf{Ok})$$

f. Kontrol Lendutan

$$\text{Lendutan ijin (f)} = \frac{L}{\frac{240}{455}}$$

$$= \frac{240}{455}$$

$$= 1.896 \text{ cm}$$

$$f^o = \frac{5}{384} \frac{qL^4}{EI_x}$$

$$f^o = \frac{5}{384} \frac{(qD + qL) L^4}{EI_x}$$

$$= \frac{5}{384} \frac{(5.6 + 0) \times 455^4}{2 \times 10^6 \times 2 \times 10^4}$$

$$= 0.0781 \text{ cm}$$

$$f^o = 0.0781 \text{ cm} \leq 1.896 \text{ cm} \quad (\mathbf{Ok})$$

g. Kondisi Setelah Komposit

1. Beban mati:

$$\text{Spesi lantai (t = 1 cm)} = 21 \times 2 = 42 \text{ kg/m}$$

$$\text{Lantai keramik} = 24 \times 2 = 48 \text{ kg/m}$$

$$\text{Pelat bondek} = 10.1 \times 2 = 20.20 \text{ kg/m}$$

$$\text{Pelat beton} = 0.09 \times 2 \times 2400 = 432 \text{ kg/m}$$

$$\text{Balok anak} = 56.80 \text{ kg/m}$$

$$\text{Perpipaan} = 25 \times 2 = 50 \text{ kg/m}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Rangka+ plafond} &= 7 \times 11 &= 77 &\text{ kg/m+} \\
 & &= 726 &\text{ kg/m} \\
 \text{Sambungan} &= 10\% \times 636 &= 72.60 &\text{ kg/m+} \\
 & &= 798.60 &\text{ kg/m}
 \end{aligned}$$

2. Beban hidup:
Lantai (SNI 1727:2013 Tabel 4-1)

$$\begin{aligned}
 &= 2.87 \text{ kN/m}^2 \\
 &= 292.66 \text{ kg/m}^2 \times 2 \text{ m} \\
 &= 585.312 \text{ kg/m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 q_u &= 1.2q_d + 1.6q_l \\
 &= 1.2 \times 798.60 + 1.6 \times 585.31 \\
 &= 1894.820 \text{ kg/m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_u &= 1/8 q_u L^2 \\
 &= 1/8 \times 1894.82 \times 4.55^2 \\
 &= 4303.44 \text{ kgm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 V_u &= 1/2 q_u L \\
 &= 1/2 \times 1894.82 \times 4.55 \\
 &= 4310.715 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

h. Menghitung Momen Nominal

- Lebar efektif

$$\begin{aligned}
 B_{eff} &\leq 1/4L = 113.75 \text{ cm} \\
 B_{eff} &\leq S = 300 \text{ cm}
 \end{aligned}
 \left. \vphantom{\begin{aligned} B_{eff} &\leq 1/4L \\ B_{eff} &\leq S \end{aligned}} \right\} 114 \text{ cm}$$
 (SNI 1729:2015 Pasal I3.2.2a)

$$h/t_w = 48.86$$

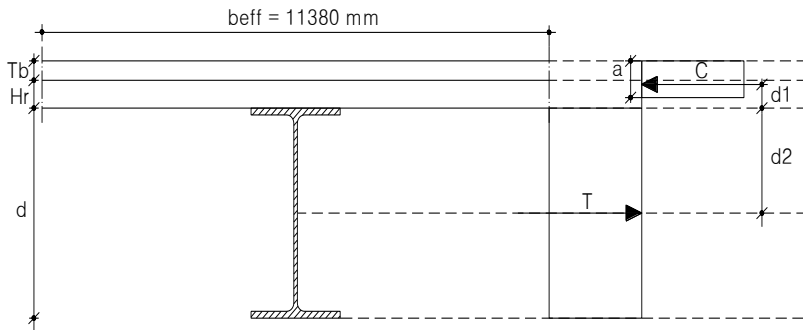
$$3.79 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 3.79 \sqrt{\frac{2 \times 10^5}{250}} = 107.20$$

Dianalisa dengan distribusi tegangan plastis

$$\begin{aligned}
 C &= 0.85 f_c' t_{\text{pelat}} B_{eff} \\
 &= 0.85 \times 300 \times (9 - 5.3) \times 114 \\
 &= 107323 \text{ kg (menentukan)}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 T &= A_s F_y \\
 &= 72.16 \times 2500 \\
 &= 180400 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

$T > C$, maka garis netral terletak pada profil



Gambar 4. 20 Gaya yang bekerja pada balok anak komposit

$$a = \frac{T}{0.85 f'_c b_{\text{eff}}}$$

$$= \frac{180400}{0.85 \times 300 \times 113.8}$$

$$= \frac{29006.25}{180400}$$

$$= 6.219 \text{ cm}$$

$$d2 = \frac{T - C}{b \cdot 2 f_y}$$

$$= \frac{180400 - 107323}{19.9 \times 2 \times 2500}$$

$$= 0.734 \text{ cm}$$

$$Mn = T \left(\frac{d}{2} - d2 \right) + \left(\frac{t_{\text{beton}}}{2} + Hr + d2 \right)$$

$$= 180400 \left(\frac{39.6}{2} - 0.734 \right) + \left(\frac{3.7}{2} + 5.7 + 0.734 \right)$$

$$= 3439426.852 + 846182.842$$

$$= 4285609.69 \text{ kgcm}$$

$$= 42856.097 \text{ kgm}$$

$$\phi Mn \geq Mu \rightarrow \phi = 0.9$$

$$0.9 \times 42856.07 \text{ kgm} \geq 4903.44 \text{ kgm}$$

$$38570 \text{ kgm} \geq 4903.44 \text{ kgm} \quad (\mathbf{Ok})$$

i. Kontrol Lendutan

$$\begin{aligned} E_c &= 0.043 \times W_c^{1.5} \sqrt{f_c'} \\ &= 0.043 \times 2400^{1.5} \sqrt{30} \\ &= 27691.466 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$E_s = 200000$$

$$\begin{aligned} n &= \frac{E_s}{E_c} \\ &= \frac{200000}{27691.466} \\ &= 7.222 \end{aligned}$$

$$b_{eff} = 113.8 \text{ cm}$$

$$\begin{aligned} b_{tr} &= \frac{b_{eff}}{n} \\ &= \frac{113.8}{7.222} \\ &= 15.750 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{tr} &= b_{tr} \times t_{pelat} \\ &= 15.750 \times 3.7 \\ &= 58.273 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

- Menentukan garis netral

$$\begin{aligned} Y_{na} &= \frac{\left[A_{tr} \times \frac{t_{pelat}}{2} \right] + \left[A_s \left(t_{pelat} + hr + \frac{d}{2} \right) \right]}{(A_{tr} + A_s)} \\ &= \frac{\left[58.273 \times \frac{3.7}{2} \right] + \left[72.16 \left(3.7 + 5.3 + \frac{39.6}{2} \right) \right]}{(58.273 + 72.16)} \\ &= \frac{107.805 + 2078.208}{130.433} \\ &= 16.760 \text{ cm} \end{aligned}$$

- Menentukan Nilai Momen Inersia

$$\begin{aligned} I_{tr} &= \left[\left(\frac{1}{12} \times b_{tr} \times t_{pelat}^3 \right) + A_{tr} \left(Y_{na} - \frac{t_{pelat}}{2} \right)^2 \right] + \\ &\quad \left[I_x + A_s \left(\left(t_{pelat} + hr + \frac{d}{2} \right) - Y_{na} \right)^2 \right] \\ &= 66.480 + 12953.979 + 30461.061 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= 43481.520 \\
 f_{ijin} &= \frac{L}{\frac{240}{455}} \\
 &= \frac{240}{455} \\
 &= 1.896 \text{ cm} \\
 f^o &= \frac{5 \times (q_d + q_l) \times L^4}{\frac{348 \times E \times I_{tr}}{5 \times (8 + 5.85) \times 455^4}} \\
 &= \frac{348 \times 2 \times 10^6 \times 43481.520}{5 \times (8 + 5.85) \times 455^4} \\
 &= 0.098 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 f_{ijin} &\geq f^o \\
 1.896 \text{ cm} &\geq 0.098 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

j. Kontrol Geser

$$\begin{aligned}
 V_n &= 0.6 F_y A_w C_v \\
 &= 0.6 \times 2500 \times 39.6 \times 0.7 \times 1 \\
 &= 41580 \text{ kg} \\
 \frac{h}{t_w} &= \frac{342}{7} \\
 &= 48.857 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

$$2.24 \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 2.24 \sqrt{\frac{2 \times 10^5}{250}} = 63.357$$

$$\begin{aligned}
 \phi_v V_n &\geq V_u \rightarrow \phi = 1 \\
 1 \times 41580 \text{ kg} &\geq 4310.715 \text{ kg} \\
 41580 \text{ kg} &\geq 4310.715 \text{ kg} \quad (\text{Ok})
 \end{aligned}$$

4.3.8 Perencanaan Penghubung Geser

Direncanakan penghubung geser yang dipakai adalah tipe stud, dengan data sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 d_s &= 16 \text{ mm} \\
 A_{sc} &= 201.06 \text{ mm}^2 \\
 f_u &= 410 \text{ MPa} = 41 \text{ kg/mm}^2 \\
 E_c &= 0.043 \times W_c^{1.5} \sqrt{f_{c'}} \\
 &= 0.043 \times 2400^{1.5} \sqrt{30}
 \end{aligned}$$

$$= 27691.466 \text{ MPa}$$

$$Q_n = 0.5 A_{sc} \sqrt{f'_c E_c} \leq R_g R_p A_{sc} F_u$$

$$= 0.5 \times 201.06 \sqrt{30 \times 27691.466}$$

$$= 9162.911 \text{ kg/stud}$$

$$R_g R_p A_{sc} F_u = 1 \times 0.75 \times 201.06 \times 41$$

$$= 6182.654 \text{ kg/stud (menentukan)}$$

Jumlah penghubung geser:

$$N = \frac{V'}{Q_n} = \frac{180400}{6031.858}$$

$$N = 29.178 \approx 30 \text{ buah}$$

maka kebutuhan total adalah 60 buah

Jika dipasang 2 stud per tampang melintang maka jarak (S) adalah:

$$S = \frac{4550}{(60 + 4) \times 0.5} = 142 \text{ mm}$$

Jarak stud melintang:

$$S = 4D = 4 \times 16 = 64 \text{ mm}$$

Jadi penghubung geser dipasang setiap jarak 14 cm , sekaligus berfungsi sebagai penahan lateral pada balok.

4.3.9 Perencanaan Balok Anak Lantai 1-12 Tipikal (BA5)

Direncanakan memakai WF 400x200x7x11, dengan data sebagai berikut:

$$W = 21.3 \text{ kg/m} \quad r = 11 \text{ mm} \quad S_y = 41 \text{ cm}^3$$

$$A = 27.16 \text{ cm} \quad i_x = 8.24 \text{ cm} \quad Z_x = 184 \text{ cm}^3$$

$$b = 100 \text{ mm} \quad i_y = 2.22 \text{ cm} \quad Z_y = 26.8 \text{ cm}^3$$

$$d = 200 \text{ mm} \quad I_x = 1840 \text{ cm}^4 \quad h = 167 \text{ mm}$$

$$t_f = 5.5 \text{ mm} \quad I_y = 134 \text{ cm}^4$$

$$t_w = 8 \text{ mm} \quad S_x = 200 \text{ cm}^3$$

$$BJ 41 : f_y = 2500 \text{ kg/cm}^2$$

$$f_r = 700 \text{ kg/cm}^2$$

$$f_u = 4100 \text{ kg/cm}^2$$

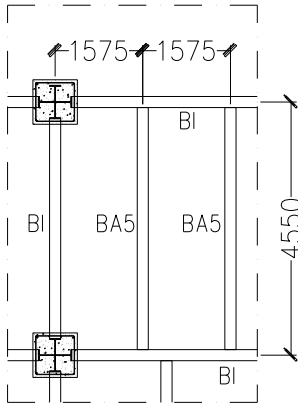
$$\text{Beton : } f'_c = 300 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{tebal pelat} = 9 \text{ cm}$$

$$h_r = 5.3 \text{ cm}$$

$$t_b = 3.7 \text{ cm}$$

$$\text{Panjang Balok Anak(L)} = 455 \text{ cm}$$



Gambar 4. 21 Denah Balok Anak Lantai 1-12 Tipikal (BA5)

a. Kondisi Sebelum Komposit

Beban mati:

$$\text{Pelat bondek} = 10.1 \times 1.575 = 15.91 \text{ kg/m}$$

$$\text{Pelat beton} = 0.09 \times 1.575 \times 2400 = 340 \text{ kg/m}$$

$$\text{Balok anak} = \underline{56.80 \text{ kg/m} +}$$

$$\text{Sambungan} = 10\% \times 509 = 413 \text{ kg/m}$$

$$\underline{= 41.29 \text{ kg/m} +}$$

$$= 454.198 \text{ kg/m}$$

b. Momen Berfaktor

$$\begin{aligned} q_u &= 1.2q_d + 1.6q_l \\ &= (1.2 \times 454.20) + (1.6 \times 0) \\ &= 545.038 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_u &= 1/8 q_u L^2 \\ &= 1/8 \times 545.038 \times 4.55^2 \\ &= 1410.46 \text{ kgm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_u &= 1/2 q_u L \\ &= 1/2 \times 545.038 \times 4.55 \\ &= 1239.961 \text{ kg} \end{aligned}$$

c. Kontrol Penampang

- kontrol sayap

$$\frac{b_f}{2t_f} = \frac{199}{22} = 9.045$$

$$\lambda_p = \frac{170}{\sqrt{f_y}} = \frac{170}{\sqrt{250}} = 10.752$$

$$\frac{b_f}{2t_f} \leq \lambda_p = \frac{170}{\sqrt{f_y}} \quad (\text{Ok})$$

- kontrol badan

$$\frac{h}{t_w} = \frac{342}{7} = 49$$

$$\lambda_p = \frac{1680}{\sqrt{f_y}} = \frac{1680}{\sqrt{250}} = 106$$

$$\frac{h}{t_w} \leq \lambda_p = \frac{1680}{\sqrt{f_y}} \quad (\text{Ok})$$

Penampang kompak

$$M_n = M_p = F_y \cdot Z_x$$

$$M_n = 2500 \times 1010$$

$$= 2525000 \text{ kgcm}$$

$$= 25250 \text{ kgm}$$

$$\phi_b M_n \geq M_u \rightarrow \phi = 0.9$$

$$0.9 \times 25250 \text{ kgm} \geq 1410.46 \text{ kgm}$$

$$22725 \text{ kgm} \geq 1410.46 \text{ kgm} \quad (\text{Ok})$$

d. Kontrol Lateral Buckling

$$L_b = 14 \text{ cm}$$

$$L_p = 1.76 \text{ iy} \sqrt{\frac{E}{f_y}}$$

$$= 1.76 \times 4.48 \times \sqrt{\frac{2 \times 10^6}{2500}}$$

$$= 233.016 \text{ cm}$$

$L_b \leq L_p$, Keadaan batas dari tekuk lateral tidak boleh digunakan

e. Kontrol Geser

$$V_n = 0.6 F_y A_w C_v$$

$$\frac{h}{tw} = \frac{342}{7}$$

$$= 48.857$$

$$2.24 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 2.24 \sqrt{\frac{2 \times 10^6}{2500}} = 63.357$$

$$V_n = 0.6 \times 2500 \times 27.72 \times 1 \quad \text{SNI 1729:2015 Pasal G2.1}$$

$$= 41580 \text{ kg}$$

$$\phi_v V_n \geq V_u \rightarrow \phi = 1$$

$$1 \times 41580 \text{ kg} \geq 1239.961 \text{ kg}$$

$$41580 \text{ kg} \geq 1239.961 \text{ kg} \quad (\text{Ok})$$

f. Kontrol Lendutan

$$\text{Lendutan ijin (f)} = \frac{L}{\frac{240}{455}}$$

$$= \frac{240}{455}$$

$$= 1.896 \text{ cm}$$

$$f^o = \frac{5}{384} \frac{qL^4}{EI_x}$$

$$f^o = \frac{5}{384} \frac{(qD + qL) L^4}{EI_x}$$

$$= \frac{5}{384} \frac{(4.54 + 4.61) 455^4}{2 \times 10^6 \times 2 \times 10^4}$$

$$= 0.128 \text{ cm}$$

$$f^o = 0.128 \text{ cm} \leq 1.896 \text{ cm} \quad (\text{Ok})$$

g. Kondisi Setelah Komposit

1. Beban mati:

Spesi lantai ($t=1 \text{ cm}$)	$= 21 \times 1.575$	$= 33.075 \text{ kg/m}$
Lantai keramik	$= 24 \times 1.575$	$= 37.8 \text{ kg/m}$
Pelat bondek	$= 10.1 \times 1.575$	$= 15.91 \text{ kg/m}$
Pelat beton	$= 0.09 \times 1.575 \times 2400$	$= 340 \text{ kg/m}$
Balok anak	$=$	$= 56.80 \text{ kg/m}$
Perpipaan	$= 25 \times 1.575$	$= 39 \text{ kg/m}$
Rangka+ plafond	$= 7 \times 11$	$= 77 \text{ kg/m+}$
		$= 600.16 \text{ kg/m}$

$$\begin{aligned}\text{Sambungan} &= 10\% \times 600.16 &= \frac{60.02 \text{ kg/m}}{660.17 \text{ kg/m}}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}2. \text{ Beban hidup:} \\ \text{Atap (SNI 1727:2013 Tabel 4-1)} \\ &= 2.87 \text{ kN/m}^2 \\ &= 292.66 \text{ kg/m}^2 \times 1.575 \text{ m} \\ &= 460.933 \text{ kg/m}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}q_u &= 1.2q_d + 1.6q_l \\ &= 1.2 \times 660.17 + 1.6 \times 460.93 \\ &= 1529.701 \text{ kg/m}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}M_u &= 1/8 q_u L^2 \\ &= 1/8 \times 1529.70 \times 4.55^2 \\ &= 3958.580 \text{ kgm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}V_u &= 1/2 q_u L \\ &= 1/2 \times 1529.701 \times 4.55 \\ &= 3480.070 \text{ kg}\end{aligned}$$

h. Menghitung Momen Nominal

- Lebar efektif

$$\begin{aligned}B_{eff} &\leq 1/4L = 113.75 \text{ cm} \\ B_{eff} &\leq S = 300 \text{ cm}\end{aligned} \quad \left. \vphantom{\begin{aligned} B_{eff} &\leq 1/4L \\ B_{eff} &\leq S \end{aligned}} \right\} 114 \text{ cm}$$
 (SNI 1729:2015 Pasal I3.2.2a)

$$h/t_w = 48.86$$

$$3.79 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 3.79 \sqrt{\frac{2 \times 10^5}{250}} = 107.20$$

Dianalisa dengan distribusi tegangan plastis

$$\begin{aligned}C &= 0.85 f'_c t_{\text{pelat}} B_{eff} \\ &= 0.85 \times 300 \times (9 + 5.3) \times 114 \\ &= 107323 \text{ kg (Menentukan)}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}T &= A_s F_y \\ &= 72.16 \times 2500 \\ &= 180400 \text{ kg}\end{aligned}$$

$T > C$, maka garis netral terletak pada profil

$$a = \frac{T}{0.85 f'_c b_{eff}}$$

$$\begin{aligned}
&= \frac{180400}{0.85 \times 300 \times 113.8} \\
&= \frac{180400}{29006.25} \\
&= 6.219 \text{ cm} \\
d2 &= \frac{T - C}{b \cdot 2 \cdot f_y} \\
&= \frac{180400 - 107323}{19.9 \times 2 \times 2500} \\
&= 0.734 \text{ cm} \\
Mn &= T \left(\frac{d}{2} - d2 \right) + \left(\frac{t_{\text{beton}}}{2} + Hr + d2 \right) \\
&= 180400 \left(\frac{39.6}{2} - 0.734 \right) + \left(\frac{3.7}{2} + 5.7 + 0.734 \right) \\
&= 3439426.852 + 846182.842 \\
&= 4285609.69 \text{ kgcm} \\
&= 42856.097 \text{ kgm} \\
\phi Mn &\geq Mu \rightarrow \phi = 0.9 \\
0.9 \times 42856.07 \text{ kgm} &\geq 3958.58 \text{ kgm} \\
38570 \text{ kgm} &\geq 3958.58 \text{ kgm} \quad (\mathbf{Ok})
\end{aligned}$$

i. Kontrol Lendutan

$$\begin{aligned}
Ec &= 0.043 \times Wc^{1.5} \sqrt{f'_c} \\
&= 0.043 \times 2400^{1.5} \sqrt{30} \\
&= 27691.466 \text{ MPa} \\
Es &= 200000 \\
n &= \frac{Es}{Ec} \\
&= \frac{200000}{27691.466} \\
&= 7.222 \\
beff &= 133.8 \text{ cm} \\
b_{tr} &= \frac{beff}{n} \\
&= \frac{113.8}{7.222}
\end{aligned}$$

$$= 15.750 \text{ cm}$$

$$\begin{aligned} A_{tr} &= b_{tr} \times t_{pelat} \\ &= 15.750 \times 3.7 \\ &= 58.273 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

- Menentukan garis netral

$$\begin{aligned} Y_{na} &= \frac{\left[A_{tr} \times \frac{t_{pelat}}{2} \right] + \left[A_s \left(t_{pelat} + h_r + \frac{d}{2} \right) \right]}{(A_{tr} + A_s)} \\ &= \frac{\left[152.688 \times \frac{3.7}{2} \right] + \left[72.16 \left(3.7 + 5.3 + \frac{39.6}{2} \right) \right]}{(153.688 + 72.16)} \\ &= \frac{284.322 \times 2078.208}{225.848} \\ &= 16.760 \text{ cm} \end{aligned}$$

- Menentukan Nilai Momen Inersia

$$\begin{aligned} I_{tr} &= \left[\left(\frac{1}{12} \times b_{tr} \times t_{pelat}^3 \right) + A_{tr} \left(Y_{na} - \frac{t_{pelat}}{2} \right)^2 \right] + \\ &\quad \left[I_x + A_s \left(\left(t_{pelat} + h_r + \frac{d}{2} \right) - Y_{na} \right)^2 \right] \\ &= 66.480 + 12953.979 + 30461.061 \\ &= 43481.520 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} f_{ijin} &= \frac{L}{\frac{240}{455}} \\ &= \frac{240}{1.896} \text{ cm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} f^o &= \frac{5 \times (q_d + q_l) \times L^4}{348 \times E \times I_{tr}} \\ &= \frac{5 \times (7 + 4.61) \times 455^4}{348 \times 2 \times 10^6 \times 43481.520} \\ &= 0.0794 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$f_{ijin} \geq f^o$$

$$1.896 \text{ cm} \geq 0.0794 \text{ cm}$$

j. Kontrol Geser

$$V_n = 0.6 F_y A_w C_v$$

$$\begin{aligned}
 &= 0.6 \times 2500 \times 39.6 \times 0.7 \times 1 \\
 &= 41580 \text{ kg} \\
 \frac{h}{tw} &= \frac{342}{7} \\
 &= 48.857 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

$$2.24 \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 2.24 \sqrt{\frac{2 \times 10^5}{250}} = 63.357$$

$$\phi_v V_n \geq V_u \rightarrow \phi = 1$$

$$1 \times 41580 \text{ kg} \geq 3480.070 \text{ kg}$$

$$41580 \text{ kg} \geq 3480.070 \text{ kg} \quad (\text{Ok})$$

4.3.10 Perencanaan Penghubung Geser

Direncanakan penghubung geser yang dipakai adalah tipe stud, dengan data sebagai berikut:

$$d_s = 16 \text{ mm}$$

$$A_{sc} = 201.06 \text{ mm}^2$$

$$f_u = 410 \text{ MPa} = 41 \text{ kg/mm}^2$$

$$\begin{aligned}
 E_c &= 0.043 \times W_c^{1.5} \sqrt{f'_c} \\
 &= 0.043 \times 2400^{1.5} \sqrt{30} \\
 &= 27691.466 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Q_n &= 0.5 A_{sc} \sqrt{f'_c E_c} \leq R_g R_p A_{sc} F_u \\
 &= 0.5 \times 201.06 \sqrt{30 \times 27691.466} \\
 &= 91629.106 \text{ kg/stud}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 R_g R_p A_{sc} F_u &= 1 \times 0.75 \times 201.06 \times 41 \\
 &= 6182.654 \text{ kg/stud (menentukan)}
 \end{aligned}$$

Jumlah penghubung geser:

$$N = \frac{V'}{Q_n} = \frac{180400}{6182.654}$$

$$N = 29.178 \approx 30 \text{ buah}$$

maka kebutuhan total adalah 60 buah

Jika dipasang 2 stud per tampang melintang maka jarak (S) adalah:

$$S = \frac{4550}{(60 + 4) \times 0.5} = 142 \text{ mm}$$

Jarak stud melintang:

$$S = 4D = 4 \times 16 = 64 \text{ mm}$$

Jadi penghubung geser dipasang setiap jarak 14 cm , sekaligus berfungsi sebagai penahan lateral pada balok.

4.3.11 Perencanaan Balok Anak Lantai 1-12 (BA6)

Direncanakan memakai WF 400x200x7x11, dengan data sebagai berikut:

W	= 21.3	kg/m	r	= 11	mm	Sy	= 41	cm ³
A	= 27.16	cm	ix	= 8.24	cm	Zx	= 184	cm ³
b	= 100	mm	iy	= 2.22	cm	Zy	= 26.8	cm ³
d	= 200	mm	Ix	= 1840	cm ⁴	h	= 167	mm
tf	= 5.5	mm	Iy	= 134	cm ⁴			
tw	= 8	mm	Sx	= 200	cm ³			

$$\text{BJ 41 : } f_y = 2500 \text{ kg/cm}^2 \quad f_r = 700 \text{ kg/cm}^2$$

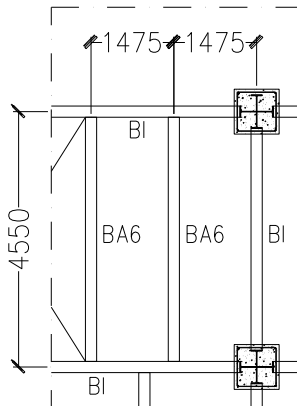
$$f_u = 4100 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{Beton : } f_c' = 300 \text{ kg/cm}^2 \quad \text{tebal pelat} = 9 \text{ cm}$$

$$h_r = 5.3 \text{ cm}$$

$$t_b = 3.7 \text{ cm}$$

$$\text{Panjang Balok Anak(L)} = 455 \text{ cm}$$



Gambar 4. 22 Denah Balok Anak Lantai 1-12 (BA6)

a. Kondisi Sebelum Komposit

Beban mati:

$$\begin{aligned}
 \text{Pelat bondek} &= 10.1 \times 1.475 &= 14.90 \text{ kg/m} \\
 \text{Pelat beton} &= 0.09 \times 1.475 \times 2400 &= 319 \text{ kg/m} \\
 \text{Balok anak} &= &= \underline{56.80 \text{ kg/m}} + \\
 & &= 390 \text{ kg/m} \\
 \text{Sambungan} &= 10\% \times 390 &= \underline{50.90 \text{ kg/m}} + \\
 & &= 429.327 \text{ kg/m}
 \end{aligned}$$

b. Momen Berfaktor

$$\begin{aligned}
 q_u &= 1.2q_d + 1.6 q_l \\
 &= (1.2 \times 429.33) + (1.6 \times 0) \\
 &= 515.193 \text{ kg/m} \\
 M_u &= 1/8 q_u L^2 \\
 &= 1/8 \times 515.193 \times 4.55^2 \\
 &= 1333.222 \text{ kgm} \\
 V_u &= 1/2 q_u L \\
 &= 1/2 \times 515.193 \times 4.55 \\
 &= 1172.063 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

c. Kontrol Penampang

- kontrol sayap

$$\begin{aligned}
 \frac{b_f}{2t_f} &= \frac{199}{22} = 9.045 \\
 \lambda_p &= \frac{170}{\sqrt{f_y}} = \frac{170}{\sqrt{250}} = 10.752 \\
 \frac{b_f}{2t_f} &\leq \lambda_p = \frac{170}{\sqrt{f_y}} \quad (\text{Ok})
 \end{aligned}$$
- kontrol badan

$$\begin{aligned}
 \frac{h}{t_w} &= \frac{342}{7} = 49 \\
 \lambda_p &= \frac{1680}{\sqrt{f_y}} = \frac{1680}{\sqrt{250}} = 106 \\
 \frac{h}{t_w} &\leq \lambda_p = \frac{1680}{\sqrt{f_y}} \quad (\text{Ok})
 \end{aligned}$$

Penampang kompak

$$M_n = M_p = F_y \cdot Z_x$$

$$\begin{aligned}
 M_n &= 2500 \times 1010 \\
 &= 2525000 \text{ kgcm} \\
 &= 25250 \text{ kgm}
 \end{aligned}$$

$$\phi_b M_n \geq M_u \rightarrow \phi = 0.9$$

$$22725 \text{ kgm} \geq 1333.222 \text{ kgm} \quad (\text{Ok})$$

d. Kontrol Lateral Buckling

$$L_b = 14 \text{ cm}$$

$$\begin{aligned}
 L_p &= 1.76 \text{ iy} \sqrt{\frac{E}{f_y}} \\
 &= 1.76 \times 4.48 \times \sqrt{\frac{2 \times 10^6}{2500}} \\
 &= 233.016 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

$L_b \leq L_p$, Keadaan batas dari tekuk lateral tidak boleh digunakan

e. Kontrol Geser

$$V_n = 0.6 F_y A_w C_v$$

$$\begin{aligned}
 \frac{h}{t_w} &= \frac{342}{7} \\
 &= 48.857
 \end{aligned}$$

$$2.24 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 2.24 \sqrt{\frac{2 \times 10^6}{2500}} = 63.357$$

$$\begin{aligned}
 V_n &= 0.6 \times 2500 \times 27.72 \times 1 \quad \text{SNI 1729:2015 Pasal G2.1} \\
 &= 41580 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

$$\phi_v V_n \geq V_u \rightarrow \phi = 1$$

$$1 \times 41580 \text{ kg} \geq 1172.063 \text{ kg}$$

$$41580 \text{ kg} \geq 1172.063 \text{ kg} \quad (\text{Ok})$$

f. Kontrol Lendutan

$$\begin{aligned}
 \text{Lendutan ijin (f)} &= \frac{L}{\frac{240}{455}} \\
 &= \frac{240}{455} \\
 &= 1.896 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

$$f^o = \frac{5}{384} \frac{qL^4}{EI_x}$$

$$f^o = \frac{5}{384} \frac{(qD + qL) L^4}{EI_x}$$

$$= \frac{5}{384} \frac{(4.29 + 0) 455^4}{2 \times 10^6 \times 2 \times 10^4}$$

$$= 0.060 \text{ cm}$$

$$f^o = 0.060 \text{ cm} \leq 1.896 \text{ cm} \quad (\text{Ok})$$

g. Kondisi Setelah Komposit

1. Beban mati:

Spesi lantai ($t=1\text{cm}$)	$= 21 \times 1.475$	$= 30.975 \text{ kg/m}$
Lantai keramik	$= 24 \times 1.475$	$= 35.4 \text{ kg/m}$
Pelat bondek	$= 10.1 \times 1.475$	$= 14.90 \text{ kg/m}$
Pelat beton	$= 0.09 \times 1.475 \times 2400$	$= 319 \text{ kg/m}$
Balok anak	$=$	$= 56.80 \text{ kg/m}$
Perpipaan	$= 25 \times 1.475$	$= 37 \text{ kg/m}$
Rangka+ plafond	$= 7 \times 11$	$= 77 \text{ kg/m+}$
		$= 571 \text{ kg/m}$
Sambungan	$= 10\% \times 571$	$= 57.05 \text{ kg/m+}$
		$= 627.602 \text{ kg/m}$

2. Beban hidup:

Atap (SNI 1727:2013 Tabel 4-1)

$$= 2.87 \text{ kN/m}^2$$

$$= 292.66 \text{ kg/m}^2 \times 1.475 \text{ m}$$

$$= 431.668 \text{ kg/m}$$

$$q_u = 1.2q_d + 1.6q_l$$

$$= 1.2 \times 627.60 + 1.6 \times 431.67$$

$$= 1443.791 \text{ kg/m}$$

$$M_u = 1/8 q_u L^2$$

$$= 1/8 \times 1443.791 \times 4.55^2$$

$$= 3736.261 \text{ kgm}$$

$$V_u = 1/2 q_u L$$

$$= 1/2 \times 1443.791 \times 4.55$$

$$= 3284.625 \text{ kg}$$

h. Menghitung Momen Nominal

- Lebar efektif

$$\left. \begin{array}{l} B_{eff} \leq 1/4L = 113.75 \text{ cm} \\ B_{eff} \leq S = 300 \text{ cm} \end{array} \right\} 114 \text{ cm}$$

SNI 1729:2015 Pasal I3.2.2a

$$h/tw = 48.86$$

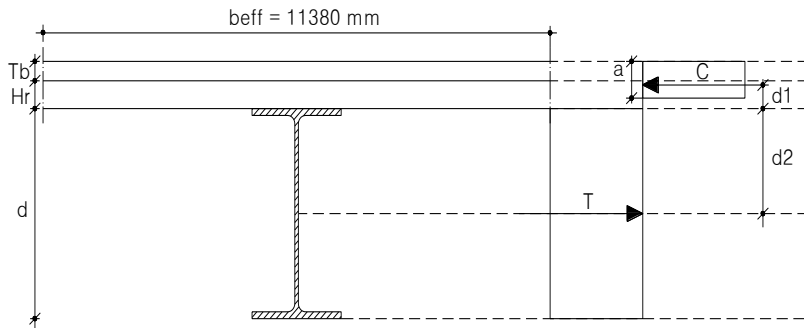
$$3.79 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 3.79 \sqrt{\frac{2 \times 10^5}{250}} = 107.20$$

Dianalisa dengan distribusi tegangan plastis

$$\begin{aligned} C &= 0.85 f_c' t_{\text{pelat}} B_{eff} \\ &= 0.85 \times 300 \times (9 + 5.3) \times 114 \\ &= 107323 \text{ kg (Menentukan)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} T &= A_s F_y \\ &= 72.16 \times 2500 \\ &= 180400 \text{ kg} \end{aligned}$$

$T > C$, maka garis netral terletak pada profil



Gambar 4. 23 Gaya yang bekerja pada balok anak komposit

$$\begin{aligned} T &= \frac{T}{b \times 2fy} \\ &= \frac{180400}{20 \times 2 \times 2500} \\ &= 99500 \end{aligned}$$

$$= 1.813 \text{ cm} > 1.1 \text{ cm}$$

$$\begin{aligned} d1 &= hr + tb - a/2 \\ &= 53 + 37 - 9.065 \\ &= 80.935 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} d2 &= \frac{D}{2} \\ &= \frac{396}{2} \\ &= 198 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} e &= d1 + d2 \\ &= 80.935 + 198 \\ &= 278.935 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Mn &= T \times e \\ &= 180400 \times 278.935 \\ &= 50319815 \text{ kgcm} \\ &= 503198.15 \text{ kgm} \end{aligned}$$

$$\phi Mn \geq Mu \rightarrow \phi = 0.9$$

$$0.9 \times 503198.15 \text{ kgm} \geq 3736.261 \text{ kgm}$$

$$452878 \text{ kgm} \geq 3736.261 \text{ kgm} \quad (\text{Ok})$$

i. Kontrol Lendutan

$$\begin{aligned} Ec &= 0.043 \times Wc^{1.5} \sqrt{f'c} \\ &= 0.043 \times 2400^{1.5} \sqrt{30} \\ &= 27691.466 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$Es = 200000$$

$$\begin{aligned} n &= \frac{Es}{Ec} \\ &= \frac{200000}{27691.466} \\ &= 7.222 \end{aligned}$$

$$beff = 113.8 \text{ cm}$$

$$\begin{aligned} b_{tr} &= \frac{beff}{n} \\ &= \frac{113.8}{7.222} \\ &= 15.750 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_{tr} &= b_{tr} \times t_{pelat} \\
 &= 15.750 \times 3.7 \\
 &= 58.273 \text{ cm}^2
 \end{aligned}$$

- Menentukan garis netral

$$\begin{aligned}
 Y_{na} &= \frac{\left[A_{tr} \times \frac{t_{pelat}}{2} \right] + \left[A_s \left(t_{pelat} + hr + \frac{d}{2} \right) \right]}{(A_{tr} + A_s)} \\
 &= \frac{\left[58.273 \times \frac{3.7}{2} \right] + \left[72.16 \left(3.7 + 5.3 + \frac{39.6}{2} \right) \right]}{(58.273 + 72.16)} \\
 &= \frac{107.805 + 2078.208}{130.433} \\
 &= 16.760 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

- Menentukan Nilai Momen Inersia

$$\begin{aligned}
 I_{tr} &= \left[\left(\frac{1}{12} \times b_{tr} \times t_{pelat}^3 \right) + A_{tr} \left(Y_{na} - \frac{t_{pelat}}{2} \right)^2 \right] + \\
 &\quad \left[I_x + A_s \left(\left(t_{pelat} + hr + \frac{d}{2} \right) - Y_{na} \right)^2 \right] \\
 &= 66.480 + 12953.979 + 30461.061 \\
 &= 43481.520
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 f_{ijin} &= \frac{L}{\frac{240}{455}} \\
 &= \frac{240}{1.896} \text{ cm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 f^o &= \frac{5 \times (qd + ql) \times L^4}{348 \times E \times I_{tr}} \\
 &= \frac{5 \times (6.28 + 4.32) \times 455^4}{348 \times 2 \times 10^6 \times 43481.520} \\
 &= 0.0750 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

$$f_{ijin} \geq f^o$$

$$1.896 \text{ cm} \geq 0.0584 \text{ cm}$$

j. Kontrol Geser

$$\begin{aligned}
 V_n &= 0.6 F_y A_w C_v \\
 &= 0.6 \times 2500 \times 39.6 \times 0.7 \times 1
 \end{aligned}$$

$$= 41580 \text{ kg}$$

$$\frac{h}{tw} = \frac{342}{7}$$

$$= 48.857 \text{ mm}$$

$$2.24 \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 2.24 \sqrt{\frac{2 \times 10^5}{250}} = 63.357$$

$$\phi_v V_n \geq V_u \rightarrow \phi = 1$$

$$1 \times 41580 \text{ kg} \geq 3284.625 \text{ kg}$$

$$41580 \text{ kg} \geq 3284.625 \text{ kg} \quad (\text{Ok})$$

4.3.12 Perencanaan Penghubung Geser

Direncanakan penghubung geser yang dipakai adalah tipe stud, dengan data sebagai berikut:

$$d_s = 16 \text{ mm}$$

$$A_{sc} = 201.06 \text{ mm}^2$$

$$f_u = 410 \text{ MPa} = 41 \text{ kg/mm}^2$$

$$E_c = 0.043 \times W_c^{1.5} \sqrt{f'_c}$$

$$= 0.043 \times 2400^{1.5} \sqrt{30}$$

$$= 27691.466 \text{ MPa}$$

$$Q_n = 0.5 A_{sc} \sqrt{f'_c E_c} \leq R_g R_p A_{sc} F_u$$

$$= 0.5 \times 201.06 \sqrt{30 \times 27691.466}$$

$$= 9162.911 \text{ kg/stud}$$

$$R_g R_p A_{sc} F_u = 1 \times 0.75 \times 201.06 \times 41$$

$$= 6182.654 \text{ kg/stud (menentukan)}$$

Jumlah penghubung geser:

$$N = \frac{V'}{Q_n} = \frac{180400}{6182.654}$$

$$N = 29.178 \approx 30 \text{ buah}$$

maka kebutuhan total adalah 60 buah

Jika dipasang 2 stud per tampang melintang maka jarak (S) adalah:

$$S = \frac{4550}{(60 + 4) \times 0.5} = 142 \text{ mm}$$

Jarak stud melintang:

$$S = 4D = 4 \times 16 = 64 \text{ mm}$$

Jadi penghubung geser dipasang setiap jarak 14 cm , sekaligus berfungsi sebagai penahan lateral pada balok.

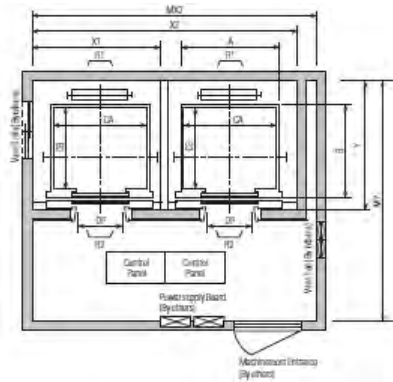
4.4 Perencanaan Struktur Balok Lift

4.4.1 Perencanaan Balok Penggantung Lift

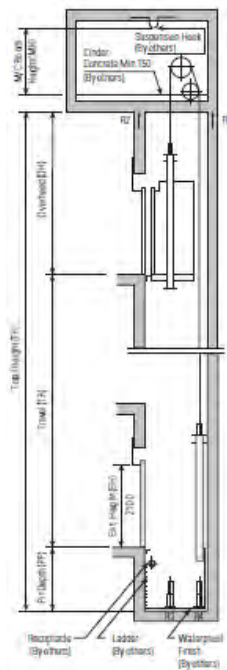
Data Perencanaan

Perencanaan balok lift meliputi balok penumpu dan balok penggantung lift pada bangunan ini menggunakan lift penumpang produksi Sigma Elevator Company. Data –data lift yang digunakan adalah sebagai berikut:

- Tipe Lift : *Passenger Elevators*
- Merk : Hyundai Elevator
- Kapasitas : 15 orang/1000 kg
- Lebar pintu : 900 mm
(Opening Width)
- Dimensi ruang luncur : 4200×2100 mm²
(Hoistway Inside) 2 car
- Dimensi sangkar
(Car size)
 - Internal : 1600×1500 mm²
 - Eksternal : 1660×1655 mm²
- Dimensi ruang mesin : 4200×2100 mm²
(2 car)
- Beban reaksi ruang mesin
 - R1 = 5450 kg
 - R2 = 4300 kg



Gambar 4. 24 Denah Lift



Gambar 4. 25 Potongan Melintang Lift

Balok lift direncanakan memakai WF 400x300x10x16 (BJ 41), dengan data sebagai berikut:

W	= 107	kg/m	r	= 22	mm	Sy	= 481	cm ³
A	= 136	cm	ix	= 16.87	cm	Zx	= 11052	cm ³
bf	= 300	mm	iy	= 7.28	cm	Zy	= 7202	cm ³
d	= 390	mm	Ix	= 38700	cm ⁴	h	= 314	mm
tf	= 16	mm	Iy	= 7210	cm ⁴			
tw	= 8	mm	Sx	= 1985	cm ³			

a. Pembebanan pada balok penggantung lift

1. Beban mati

$$\begin{aligned} \text{Berat profil balok penggantung lift} &= 107 \text{ kg/m} \\ \text{Berat sambungan} &= 10\% \frac{\text{kg}}{\text{m}} + \\ &= 117.7 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

2. Beban merata ultimate

$$\begin{aligned} q_u &= 1.4 q_d \\ &= 1.4 \times 117.70 \\ &= 164.78 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

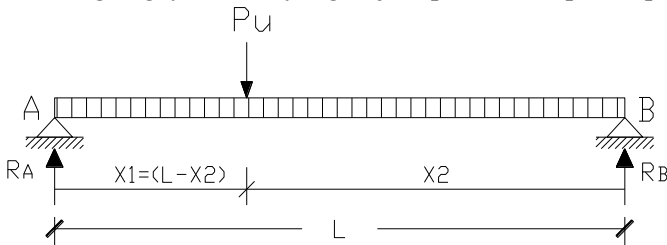
3. Beban terpusat lift

Pada pasal 4.6 Impact Load SNI 1727:2013 (Peraturan Pembebanan Untuk Bangunan Gedung dan Struktur Lain) menyatakan bahwa semua beban elevator harus ditingkatkan 50% untuk mesin yang bergerak maju dan mundur atau unit tenaga *-driven*. Semua persentase harus meningkat bila disyaratkan oleh produsen.

$$R_A = R1. \text{ KLL} = 5450 \times (1+50\%) = 8175 \text{ kg}$$

$$R_B = R2. \text{ KLL} = 4300 \times (1+50\%) = 6450 \text{ kg}$$

b. Perhitungan gaya dalam yang terjadi pada balok penumpang lift



$$L = 2 \text{ m}$$

$$\sum M_B = 0$$

$$R_A \times L - P_u \times X_2 = 0$$

$$R_A \times L = P_u \times X_2$$

$$5450 \times 2 = P_u \times X_2$$

$$P_u = \frac{5450 \times 2}{X_2}$$

$$P_u = \frac{10900}{X_2} \dots\dots\dots \textbf{Persamaan 1}$$

$$\sum M_A = 0$$

$$-R_B \times L + P_u \times (L - X_2) = 0$$

$$-6450 \times 2 + \frac{10900}{X_2} \times (2 - X_2) = 0$$

$$-12900 + \frac{21800}{X_2} \times 10900 = 0$$

$$-23800 = \frac{-21800}{X_2}$$

$$X_2 = 0.916 \text{ m}$$

$$X_1 = L - X_2$$

$$= 2 - 0.916$$

$$= 1.084 \text{ m}$$

$$P_u = \frac{10900}{X_2}$$

$$= \frac{10900}{0.916}$$

$$= 11900 \text{ kg}$$

- **Momen Maksimum**

$$\begin{aligned} M_u &= \frac{P_u \times X_1 \times X_2}{L} + \frac{1}{8} \times q_u \times L^2 \\ &= \frac{11900 \times 1.084 \times 0.916}{2} + \frac{1}{8} \times 164.78 \times 2^2 \\ &= 5907.98 + 82.39 \\ &= 5990.37 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

- **Gaya Geser**

$$\begin{aligned}
 V_u &= R_A + \frac{1}{8} \times q_u \times L \\
 &= 8175 + \frac{1}{8} \times 164.78 \times 2 \\
 &= 8216.195 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

c. Kontrol penampang profil terhadap gaya lentur

- Kontrol penampang terhadap tekuk lokal

Kontrol badan:

$$\frac{h}{t_w} = \frac{314}{10} = 31.4$$

$$\lambda_p = 3.76 \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 3.76 \sqrt{\frac{2 \times 10^5}{250}} = 106.35$$

$$\frac{h}{t_w} \leq \lambda_p \quad (\text{penampang kompak})$$

Kontrol sayap:

$$\frac{b_f}{2t_f} = \frac{300}{32} = 9.375$$

$$\lambda_p = 0.38 \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 0.38 \sqrt{\frac{2 \times 10^5}{250}} = 10.75$$

$$\frac{b_f}{2t_f} \leq \lambda_p \quad (\text{penampang kompak})$$

Karena penampang kompak, maka $M_n = M_p$

$$\begin{aligned}
 M_p &= f_y \cdot Z_x \\
 &= 250 \times 2116 \\
 &= 5290000 \text{ kgcm} \\
 &= 52900 \text{ kgm}
 \end{aligned}$$

- Kontrol penampang terhadap tekuk lateral

$$L_b = 200 \text{ cm}$$

$$L_b = 1.76 r_y \sqrt{\frac{E}{f_y}}$$

$$= 1.76 \times 7.28 \sqrt{\frac{2 \times 10^5}{250}}$$

$$= 362.40 \text{ cm}$$

kondisi balok termasuk dalam bentang pendek $L_b < L_p$

- Cek kemampuan penampang

$$\phi b \cdot M_n \geq M_u$$

$$0.9 \times 52900 \geq 5990.373$$

$$47610 \text{ kgm} \geq 5990.373 \text{ kgm} \quad (\text{Ok})$$

- d. Kontrol penampang profil terhadap gaya geser

$$V_n = 0.6 f_y A_w C_v$$

$$\frac{h}{t_w} = 1.1 \sqrt{\frac{K_v \cdot E}{f_y}} \quad (C_v = 1), (K_v = 5)$$

$$\frac{h}{t_w} = \frac{314}{10} = 31.40$$

$$1.1 \sqrt{\frac{K_v \cdot E}{f_y}} = 1.1 \sqrt{\frac{5 \times 2 \times 10^5}{250}} = 69.57$$

$$\frac{h}{t_w} \leq 1.1 \sqrt{\frac{K_v \cdot E}{f_y}} \quad (\text{Geser plastis})$$

$$V_u = \phi V_n$$

$$\phi V_n = \phi 0.6 f_y A_w C_v$$

$$\phi V_n = 0.9 \times 0.6 \times 2500 \times 39 \times 1$$

$$\phi V_n = 52650 \text{ kg}$$

$$V_u = 8216.195 \text{ kg} \leq \phi V_n = 52650 \text{ kg} \quad (\text{Ok})$$

- e. Kontrol lendutan

$$L = 200 \text{ cm}$$

$$f_{\text{ijin}} = \frac{L}{\frac{360}{200}}$$

$$= \frac{360}{200}$$

$$= 0.556 \text{ cm}$$

$$\begin{aligned}
 f &= \frac{5 \cdot q \cdot L^4}{384 \cdot EI} + \frac{1 \cdot P \cdot L^3}{48 \cdot E \cdot I} \\
 &= \frac{5 \times 164.78 \times 200^4}{384 \times 2 \times 10^6 \times 38700} + \frac{1 \times 11900 \times 200^3}{48 \times 2 \times 10^6 \times 38700} \\
 &= 0.07 \text{ cm} \\
 f &= 0.07 \text{ cm} \leq f_{\text{ijin}} = 0.556 \text{ cm} \quad (\text{Ok})
 \end{aligned}$$

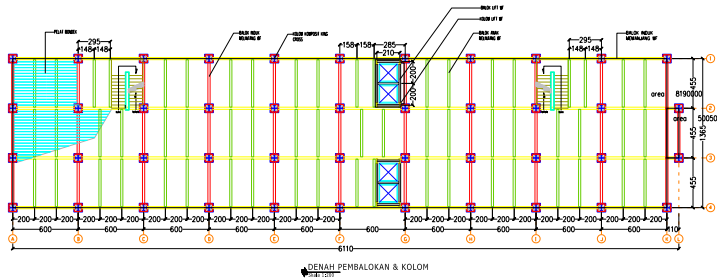
4.5 Pemodelan dan Analisa Struktur

4.5.1 Penjelasan Umum

Dalam perencanaan gedung bertingkat perlu dilakukan adanya perencanaan pembebanan grafitasi maupun pembebanan gempa. Hal ini bertujuan agar struktur gedung tersebut mampu untuk memikul beban beban yang terjadi. Pembebanan grafitasi mengacu pada ketentuan SNI 1727:2013 serta SNI 2847:2013, dan pembebanan gempa dengan mengacu pada SNI 1726:2012, yang di dalamnya terdapat ketentuan dan persyaratan perhitungan beban gempa.

4.5.2 Pemodelan Struktur

Pemodelan struktur pada tugas akhir ini menggunakan sistem rangka baja dan beton komposit pemikul momen khusus (SRPMK). Struktur rangka pemikul momen khusus sebagai penahan gaya lateral yang terjadi akibat gempa. Struktur yang direncanakan adalah bangunan apartemen yang terdiri dari 13 lantai dan 1 *basement* dengan total tinggi struktur 45 m. Pemodelan gedung berlokasi di Surabaya. Denah dari struktur yang ada dalam pemodelan tugas akhir penulis adalah sebagai berikut:



Gambar 4. 26 Denah Struktur Apartemen Pavilion Permata

4.5.3 Data Gedung

Data data perencanaan Gedung Pavilion Permata Surabaya yang direncanakan dalam struktur adalah sebagai berikut:

- Mutu baja : BJ 41
- Mutu beton (f_c') : 30 MPa
- Panjang : 13.65 m
- Lebar : 61.10 m
- Tinggi total : 45 m
- Tinggi antar lantai
- Lantai basement : 3 m
- lantai 1-13 : 3.5 m
- Tebal pelat
- Pelat atap : 9 cm
- Pelat lantai : 9 cm
- Dimensi kolom
- Beton : 75x75 cm
- Profil : KC
- Dimensi balok induk
- Memanjang : WF
- Melintang : WF
- Dimensi balok anak
- Atap : WF
- Lantai : WF
- Profil balok tangga

Utama : WF

Penumpu : WF

4.5.4 Pembebanan Grafitasi

Pembebanan grafitasi berupa beban mati dan hidup yang bekerja pada gedung. Beban mati dan hidup yang diperhitungkan berupa:

- Beban mati (PPIUG 1983)
 - Berat sendiri beton : 2400 kg/m³
 - Tegel : 24 kg/m²
 - Plafond : 11 kg/m²
 - Penggantung : 1 kg/m²
 - Plumbing : 25 kg/m²
 - Dinding : 250 kg/m²
- Beban hidup (SNI 1727:2013)
 - Lantai atap : 100 kg/m²
 - Lantai apartemen : 200 kg/m²

Dari analisa yang telah dilakukan berikut adalah rekap pembebanan grafitasi pada gedung Apartemen Paviliun Permata.

Tabel 4. 1 Hasil Perhitungan Manual Beban Mati

Lantai	Beban Mati	
Atap	1838384	kg
12	2000434	kg
11	2000434	kg
10	2000434	kg
9	2000434	kg
8	2000434	kg
7	2000434	kg
6	2000434	kg
5	2000434	kg
4	2000434	kg
3	2000434	kg

2	2000434	kg
1	1881136	kg
Dasar	128304	kg
Σ	25852603	kg

Didapatkan total beban mati sebesar 25852603 kg. Pembebanan yang di inputkan pada SAP 2000 haruslah mendekati yang telah dihitung secara manual sehingga pembebanan pada SAP 2000 dapat dikatakan benar. Berikut adalah pembebanan grafitasi yang didapatkan dari SAP 2000. Didapatkan total beban mati (DEAD) sebagai berikut:

$W_{\text{total manual}} = 25852603 \text{ kg}$

$W_{\text{total SAP 2000}} = 25852603 \text{ kg}$

Selisih perhitungan manual dan SAP 2000 = $4\% < 5\%$ (memenuhi). Jadi dapat dikatakan bahwa pembebanan grafitasi pada SAP 2000 sudah benar.

4.5.5 Pembebanan Gempa Dinamis

Pembebanan gempa dengan mengacu pada SNI 1726:2012, yang didalamnya terdapat ketentuan dan persyaratan perhitungan beban gempa.

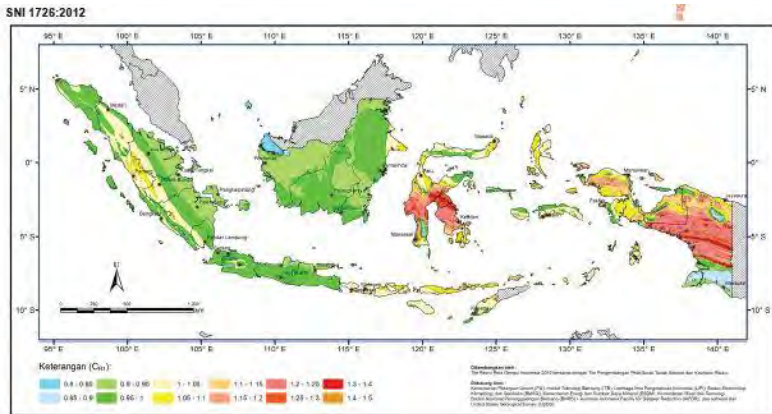
Mengacu pada SNI 1726:2012 Pasal 7.8.4.2 pada pemodelan SAP 2000 bangunan harus mengkoordinir torsi tidak terduga sebesar 5%. Desain harus menyertakan momen torsi bawaan yang dihasilkan dari struktur ditambah momen torsi tidak terduga yang disebabkan oleh perpindahan pusat massa dari lokasi aktualnya yang diasumsikan pada masing-masing arah dengan jarak sama dengan 5% dimensi struktur tegak lurus terhadap arah gaya yang ditetapkan.

4.5.6 Faktor Keutamaan Gempa

Faktor keutamaan gempa seperti yang telah dibahas pada sub bab 3.5.4 ditentukan dari jenis pemanfaatan gedung sesuai dengan kategori resiko pada peraturan. Kategori resiko untuk gedung apartemen masuk dalam kategori resiko II dengan faktor Keutamaan gempa (I) = 1.

a. Kelas Situs

Gambar 4. 27 Peta untuk menentukan periode pendek 0.2 detik
(S_a)



Gambar 4. 28 Peta untuk menentukan periode 1 detik (S_1)

S_s , Gempa Maksimum yang dipertimbangkan resiko tersesuaian (MCER). Parameter gerak tanah, untuk percepatan respons spektral 0.2 detik dalam g, (5% redaman kritis), Kelas situs SB. Dari gambar 5.2 a untuk daerah Surabaya didapatkan nilai $S_s = 0.6$ g.

S_1 , Gempa maksimum yang dipertimbangkan resiko tersesuaian (MCER) parameter gerak tanah, untuk percepatan respons spektral 1 detik dalam g (5% redaman kritis), kelas situs SB. Dari gambar 5.2 b untuk wilayah Surabaya $S_1 = 0.25$ g.

c. Parameter Percepatan Spektral Desain

Tabel 4. 2 Koefisien Situs, F_a

Kelas situs	Parameter respons spektral percepatan gempa ($MCER$) terpetakan pada periode pendek, $T=0,2$ detik, S_s				
	$S_s \leq 0,25$	$S_s = 0,5$	$S_s = 0,75$	$S_s = 1,0$	$S_s \geq 1,25$
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
SC	1,2	1,2	1,1	1,0	1,0
SD	1,6	1,4	1,2	1,1	1,0
SE	2,5	1,7	1,2	0,9	0,9
SF	SS^b				

Tabel 4. 3 Koefisien Situs, F_v

Kelas situs	Parameter respons spektral percepatan gempa MCE_R terpetakan pada periode 1 detik, S_1				
	$S_1 \leq 0,1$	$S_1 = 0,2$	$S_1 = 0,3$	$S_1 = 0,4$	$S_1 \geq 0,5$
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
SC	1,7	1,6	1,5	1,4	1,3
SD	2,4	2	1,8	1,6	1,5
SE	3,5	3,2	2,8	2,4	2,4
SF	SS ^a				

Seperti yang telah dibahas pada sub bab 3.5.4 didapatkan parameter percepatan spektra desain untuk periode pendek 0.2 detik (SDS) adalah sebagai berikut:

$$S_{MS} = F_a \cdot S_s = 1.35 \times 0.6 = 0.81$$

$$S_{MS} = F_v \cdot S_1 = 1.9 \times 0.25 = 0.48$$

Sehingga,

$$S_{DS} = \frac{2}{3} \cdot S_{MS} = \frac{2}{3} \times 0.81 = 0.54$$

$$S_{D1} = \frac{2}{3} \cdot S_{M1} = \frac{2}{3} \times 0.48 = 0.317$$

Untuk periode pendek 0.2 detik (S_s) sebesar 0.6 g dan parameter respons spektral percepatan gempa terpetakan untuk periode 1 detik (S_1) sebesar 0.25 g dengan kelas situs SDS sebesar 0.54 dan SD1 sebesar 0.317.

d. Kategori Desain Seismik

Tabel 4. 4 Koefisien Situs, Fa

Nilai S_{DS}	Kategori risiko	
	I atau II atau III	IV
$S_{DS} < 0,167$	A	A
$0,167 \leq S_{DS} < 0,33$	B	C
$0,33 \leq S_{DS} < 0,50$	C	D
$0,50 \leq S_{DS}$	D	D

Tabel 4. 5 Koefisien Situs, Fv

Nilai S_{D1}	Kategori risiko	
	I atau II atau III	IV
$S_{D1} < 0,167$	A	A
$0,067 \leq S_{D1} < 0,133$	B	C
$0,133 \leq S_{D1} < 0,20$	C	D
$0,20 \leq S_{D1}$	D	D

Tabel 4. 6 Faktor R, Cd, Ω_0 Sistem Penahan Gaya Gempa

Sistem penahan-gaya seismik	Koefisien modifikasi respons, R^d	Faktor kuat-lebih sistem, Ω_0^s	Faktor pembesaran defleksi, C_d^d	Batasan sistem struktur dan batasan tinggi struktur, h_s (m) ^c				
				Kategori desain seismik				
				B	C	D ^d	E ^d	F ^e
24. Dinding rangka ringan dengan panel geser dari semua material lainnya	2½	2½	2½	TB	TB	10	TB	TB
25. Rangka baja dengan bracing terkekang terhadap tekuk	8	2½	5	TB	TB	48	48	30
26. Dinding geser pelat baja khusus	7	2	6	TB	TB	48	48	30
C. Sistem rangka pemikul momen								
1. Rangka baja pemikul momen khusus	8	3	5½	TB	TB	TB	TB	TB
2. Rangka batang baja pemikul momen khusus	7	3	5½	TB	TB	48	30	TI
3. Rangka baja pemikul momen menengah	4½	3	4	TB	TB	10 ^{b,j}	TI ^k	TI ^l
4. Rangka baja pemikul momen biasa	3½	3	3	TB	TB	TI ^k	TI ^k	TI ^l
5. Rangka beton bertulang pemikul momen khusus	8	3	5½	TB	TB	TB	TB	TB
6. Rangka beton bertulang pemikul momen menengah	5	3	4½	TB	TB	TI	TI	TI
7. Rangka beton bertulang pemikul momen biasa	3	3	2½	TB	TI	TI	TI	TI
8. Rangka baja dan beton komposit pemikul momen khusus	8	3	5½	TB	TB	TB	TB	TB
9. Rangka baja dan beton komposit pemikul momen menengah	5	3	4½	TB	TB	TI	TI	TI
10. Rangka baja dan beton komposit terkekang parsial pemikul momen	6	3	5½	48	48	30	TI	TI
11. Rangka baja dan beton komposit pemikul momen biasa	3	3	2½	TB	TI	TI	TI	TI
12. Rangka baja kanal dingin pemikul momen khusus dengan pembautan	3½	3 ^g	3½	10	10	10	10	10

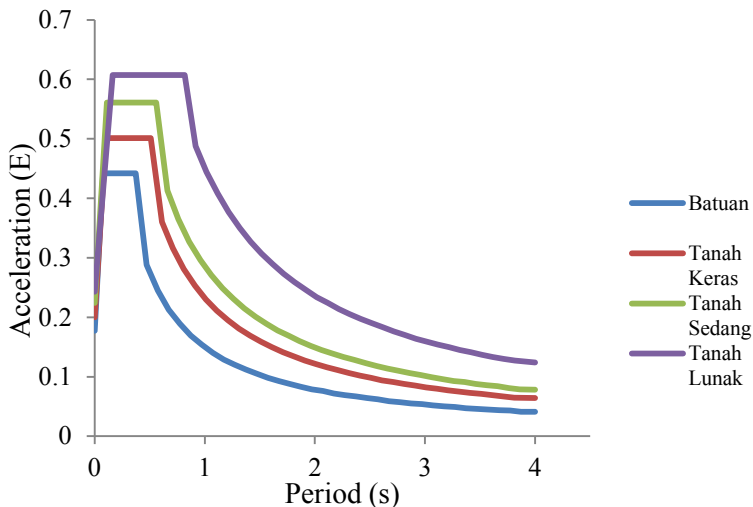
Seperti yang dibahas pada sub bab 3.5.4, kategori desain seismik dibagi berdasarkan tabel 5.4 untuk SDS sebesar 0.54 dan SD1 sebesar 0.317 dan kategori resiko II. Kategori desain seismik tergolong kategori D, tipe struktur menggunakan Sistem Rangka Pemikul Momen yaitu rangka baja dan beton komposit pemikul momen khusus yang mana nilai koefisien respon (R) = 8 dan nilai faktor pembesaran defleksi (C_d) = 5.5

e. Parameter Respon Spektrum Desain

Parameter respon spektrum desain digunakan untuk menentukan gaya gempa desain yang bekerja pada struktur. Berikut adalah nilai parameter respon spektrum untuk wilayah Surabaya dengan kondisi tanah sedang (Kelas situs SD):

Tabel 4. 7 Parameter Respons Gempa Wilayah Surabaya untuk Kelas Situs SD (Tanah Sedang)

Tanah Sedang	
Variabel	Nilai
PGA (g)	0.325
S _S (g)	0.663
S _I (g)	0.247
C _{RS}	0.991
C _{R1}	0.929
F _{PGA}	1.175
F _A	1.27
F _V	1.906
PSA (g)	0.382
S _{MS} (g)	0.842
S _{M1} (g)	0.471
S _{DS} (g)	0.561
S _{D1} (g)	0.314
T ₀ (detik)	0.112
T _S (detik)	0.56



Gambar 4. 29 Grafik Spektral Percepatan Gempa Wilayah Surabaya

f. Arah Pembebanan

Beban gempa yang bekerja pada struktur bangunan terjadi dalam arah sembarang (tidak terduga) baik dalam arah x dan y secara bolak balik dan periodikal. Untuk menstimulasikan arah pengaruh gempa rencana yang sembarang terhadap struktur gedung, pengaruh pembebanan rencana dalam arah utama harus dianggap efektif 100% dan harus dianggap terjadi bersamaan dengan pengaruh pembebanan gempa yang arahnya tegak lurus dengan arah utama dengan efektifitas 30%.

- Gempa Respon Spektrum X :
100% efektifitas untuk arah X dan 30% efektifitas arah Y
- Gempa Respon Spektrum Y :
100% efektifitas untuk arah Y dan 30% efektifitas arah X

g. Kombinasi Pembebanan

Kombinasi pembebanan diperlukan dalam sebuah perencanaan struktur bangunan. Pada saat konstruksi, tentunya beban-beban yang bekerja pada struktur hanyalah beban-beban mati saja dan beban hidup sementara akibat dari pekerja bangunan. Sedangkan

pada masa layan, beban-beban hidup permanen dari aktifitas pemakai gedung dan barang-barang inventaris yang dapat bergerak di dalam gedung. Hal ini tetntunya akan berdampak pada kekuatan rencana elemen struktur yang direncanakan berdasarkan kombinasi pembebanan terbesar akibat penjumlahan beban-beban yang bekerja dengan faktor beban LRFD (*Load Resistance Factor Design*).

Kombinasi pembebanan yang dipakai pada struktur gedung ini mengacu pada SNI 1726:2012 Tata CaraPerencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung sebagai berikut :

- $1.4D$
- $1.2D + 1.6L + (L_r \text{ atau } R)$
- $1.2D + 1.6(L_r \text{ atau } 0.5W)$
- $1.2D + 1.0W + L + 0.5(L_r \text{ atau } R)$
- $1.2D + 1.0E + L$
- $0.9D + 1.0W$
- $0.9D + 1.0E$

Keterangan :

D : Beban Mati

L : Beabn Hidup Lantai

E : Beban Gempa yang dinyatakan dalam 2 arah

4.5.7 Kontrol Desain

Setelah dilakukan pemodelan struktur 3 dimensi dengan program bantu SAP 2000 V18, hasil analisis struktur harus dikontrol terhadap suatu batasan-batasan tertentu sesuai dengan peraturan SNI 1726:2012 untuk menentukan kelayakan sistem struktur tersebut. Adapun hal-hal yang harus dikontrol adalah sebagai berikut :

- Kontrol partisipasi massa
- Kontrol periode getar struktur
- Kontrol nilai akhir respon spektrum
- Kontrol batas simpangan (*drift*)

Dari analisa tersebut juga diambil gaya dalam yang terjadi pada masing-masing elemen struktur untuk dilakukan pengecekan kapasitas penampang.

4.5.7.1 Kontrol Partisipasi Massa

Menurut SNI 1726:2012 pasal 7.9.1, bahwa perhitungan respon dinamik struktur harus sedemikian rupa sehingga partisipasi massa ragam terkombinasi paling sedikit sebesar 90% dari massa aktual dari masing-masing arah.

Dalam hal ini digunakan program bantu SAP 2000 V18 untuk mengeluarkan hasil partisipasi massa seperti pada Tabel 5.8 berikut :

Tabel 4. 8 Rasio Partisipasi Massa Apartemen Pavilion Permata

OutputCase	StepType	StepNum	SumUX	SumUY
Text	Text	Unitless	Unitless	Unitless
MODAL	Mode	1	0.00	0.75
MODAL	Mode	2	0.00	0.76
MODAL	Mode	3	0.80	0.76
MODAL	Mode	4	0.80	0.89
MODAL	Mode	5	0.80	0.89
MODAL	Mode	6	0.90	0.89
MODAL	Mode	7	0.90	0.93
MODAL	Mode	8	0.93	0.93
MODAL	Mode	9	0.93	0.94
MODAL	Mode	10	0.93	0.95
MODAL	Mode	11	0.95	0.95
MODAL	Mode	12	0.95	0.97
MODAL	Mode	13	0.97	0.97
MODAL	Mode	14	0.98	1.00
MODAL	Mode	15	1.00	1.00

Dari tabel di atas didapat partisipasi massa arah X sebesar 90% pada moda 6 dan 93% pada moda ke 7. Maka dapat

disimpulkan analisa struktur yang sudah dilakukan telah memenuhi syarat yang terdapat pada SNI 1726:2012 pasal 7.9.1 yaitu partisipasi massa ragam terkombinasi paling sedikit sebesar 90%.

4.5.8 Kontrol Waktu Getar Alami Fundamental

Untuk mencegah penggunaan strukyur gedung yang fleksibel, nilai waktu getar alami fundamental (T) dari struktur gedung harus dibatasi. Berdasarkan SNI 1726:2012 perioda fundamental harus ditentukan dari:

$$T = C_t \cdot h_n^x$$

Nilai T di atas adalah batas bawah periode struktur yang ditinjau. Untuk batas atas nya dikalikan dengan koefisien batas. Besarnya koefisien tersebut tergantung dari nilai SD1.

Struktur Apartemen Pavilion Permata ini dengan ketinggian 45 m. Pada struktur ini digunakan sistem rangka baja dan beton komposit pemikul momen khusus sehingga pada tabel 15 SNI 1726:2012 didapatkan nilai :

$$C_t = 0.0724$$

$$x = 0.8$$

$$h_n = 45 \text{ m}$$

Maka :

$$T = 0.0724 \cdot 45^{0.8}$$

$$T = 1.522 \text{ s}$$

Nilai Cu didapat dari tabel 14 SNI 1726:2012, untuk nilai

SD1 = 0.317, maka :

$$C_u \cdot T = 1.4 \times 1.522$$

$$C_u \cdot T = 2.130 \text{ s}$$

Dari hasil analisis SAP 2000 V18 periode dan frekuensi struktur dapat dilihat pada Tabel 5.9

Tabel 4. 9 Perioda dan Frekuensi Struktur

OutputCase	StepType	StepNum	Period	Frequency
Text	Text	Unitless	Sec	Cyc/sec
MODAL	Mode	1	1.324	0.755
MODAL	Mode	2	1.183	0.845
MODAL	Mode	3	1.069	0.935
MODAL	Mode	4	0.422	2.371
MODAL	Mode	5	0.382	2.616
MODAL	Mode	6	0.353	2.832
MODAL	Mode	7	0.232	4.305
MODAL	Mode	8	0.207	4.832
MODAL	Mode	9	0.174	5.756
MODAL	Mode	10	0.153	6.542
MODAL	Mode	11	0.143	6.977
MODAL	Mode	12	0.117	8.560
MODAL	Mode	13	0.099	10.149
MODAL	Mode	14	0.068	14.742
MODAL	Mode	15	0.059	17.059

Dari tabel di atas didapat $T = 1.324$ s. Maka berdasarkan kontrol waktu getar alami fundamental nilai T masih lebih kecil dari $C_u \cdot T$. Jadi analisis struktur Apartemen Pavilion Permata masih memenuhi syarat SNI 1726:2012 pasal 7.8.2.

4.5.9 Kontrol Nilai Akhir Respon Spektrum

Berdasarkan SNI 1726:2012, nilai akhir respon dinamik struktur gedung dalam arah yang ditetapkan tidak boleh kurang dari 85% nilai respons statik. Rumus gaya geser statik adalah

$$V = C_s \cdot W$$

Dimana:

$$C_s = \frac{S_{DS}}{\left(\frac{R}{I_e}\right)} = \frac{0.54}{\left(\frac{8}{1}\right)} = 0.068$$

Nilai C_s di atas nilainya tidak perlu diambil lebih besar dari :

$$C_s = \frac{S_{D1}}{\left(\frac{R}{I_e}\right)} = \frac{0.317}{\left(\frac{8}{1}\right)} = 0.040 < 0.068 \quad (\text{Ok})$$

Maka nilai $C_s = 0.040$

Dari analisis yang sudah dilakukan, didapatkan nilai berat total struktur Apartemen Pavilion Permata sebagai berikut (Tabel 5.10).

Tabel 4. 10 Reaksi Dasar Struktur

OutputCase	CaseType	GlobalFZ
Text	Text	Kgf
1D+1L	Combination	26580581.59

Dari tabel di atas didapat berat total struktur adalah **26580581.59 kg**, maka :

$$\begin{aligned} V_{\text{statik}} &= C_s \cdot W \\ &= 0.040 \times 26580581.59 \\ &= 1053255.55 \text{ kg} \end{aligned}$$

Dari hasil analisa menggunakan program SAP 2000 V18 didapatkan nilai gaya geser dasar (*base shear*) sebagai berikut :

Tabel 4. 11 Gaya Geser Akibat Beban Gempa

OutputCase	GlobalFX	GlobalFY
Text	Kgf	Kgf
RS-X	406242.82	103478
RS-Y	123123.86	340320.52

Kontrol :

- Untuk Gempa Arah X :
 $V_{\text{dinamik}} \geq 85\% \cdot V_{\text{statik}}$
 $406242.82 \text{ kg} \geq 85\% \cdot 1053255.55 \text{ kg}$
 $406242.82 \text{ kg} < 895267 \text{ kg} \quad (\text{Not Ok})$

- Untuk Gempa Arah Y :
 $V_{\text{dinamik}} \geq 85\% \cdot V_{\text{statik}}$
 $340320.52 \text{ kg} \geq 85\% \cdot 1053255.55 \text{ kg}$
 $340320.52 \text{ kg} < 895267 \text{ kg} \quad (\text{Not Ok})$

Dari kontrol diatas, analisa struktur Apartemen Paviliun Permata masih belum memenuhi syarat nilai akhir respon. Pada pasal 11.14 SNI 1726:2012 pasal 7.9.4.2 dijelaskan apabila gaya geser dasar hasil analisis kurang dari 85%, maka harus diperbesar dengan faktor skala $0.85 \frac{C_s \cdot W}{V}$.

- Untuk Gempa Arah X :

$$0.85 \cdot \frac{0.040 \times 26580581.59}{406242.82} = 2.204$$
- Untuk Gempa Arah X :

$$0.85 \cdot \frac{0.040 \times 26580581.59}{340320.52} = 2.631$$

Tabel 4. 12 Gaya Dasar Akibat Gempa Setelah Dikalikan Dengan Faktor Skala

OutputCase	GlobalFX	GlobalFY
Text	Kgf	Kgf
RS-X	895359.17	228065.51
RS-Y	323938.86	895383.30

Kontrol :

- Untuk Gempa Arah X :
 $V_{\text{dinamik}} \geq 85\% \cdot V_{\text{statik}}$
 $895359.17 \text{ kg} \geq 85\% \cdot 1053255.55 \text{ kg}$
 $895359.17 \text{ kg} > 895267 \text{ kg} \quad (\text{Ok})$
- Untuk Gempa Arah Y :
 $V_{\text{dinamik}} \geq 85\% \cdot V_{\text{statik}}$
 $895383.30 \text{ kg} \geq 85\% \cdot 1053255.55 \text{ kg}$
 $895383.30 \text{ kg} > 895267 \text{ kg} \quad (\text{Ok})$

Dari kontrol di atas dapat disimpulkan bahwa analisis struktur Apartemen Paviliun Permata masih memenuhi persyaratan SNI 1726:2012 pasal 7.8.

4.5.10 Kontrol Nilai Akhir Respons Spektrum

Berdasarkan SNI 1726:2012, nilai akhir respon dinamik struktur gedung dalam arah yang ditetapkan tidak boleh kurang dari 85% nilai respons statik. Rumus gaya geser statik adalah

$$V = C_S \cdot W$$

Dimana:

$$C_S = \frac{S_{DS}}{\left(\frac{R}{I_e}\right)} = \frac{0.54}{\left(\frac{8}{1}\right)} = 0.068$$

Nilai C_S di atas nilainya tidak perlu diambil lebih besar dari :

$$C_S = \frac{S_{D1}}{\left(\frac{R}{I_e}\right)} = \frac{0.317}{\left(\frac{8}{1}\right)} = 0.040 < 0.068 \quad (\text{Ok})$$

Maka nilai $C_S = 0.040$

Dari analisi yang sudah dilakukan, didapatkan nilai berat total struktur Apartemen Pavilion Permata sebagai berikut (Tabel 5.10).

Tabel 4. 13 Reaksi Dasar Struktur

OutputCase	CaseType	GlobalFZ
Text	Text	Kgf
1D+1L	Combination	26580581.59

Dari tabel di atas didapat berat total struktur adalah **26580581.59 kg**, maka :

$$\begin{aligned} V_{\text{statik}} &= C_S \cdot W \\ &= 0.040 \times 26580581.59 \\ &= 1053255.55 \text{ kg} \end{aligned}$$

Dari hasil analisa menggunakan program SAP 2000 V18 didapatkan nilai gaya geser dasar (*base shear*) sebagai berikut :

Tabel 4. 14 Gaya Geser Akibat Beban Gempa

OutputCase	GlobalFX	GlobalFY
Text	Kgf	Kgf
RS-X	406242.82	103478
RS-Y	123123.86	340320.52

Kontrol :

- Untuk Gempa Arah X :
 $V_{\text{dinamik}} \geq 85\% \cdot V_{\text{statik}}$
 $406242.82 \text{ kg} \geq 85\% \cdot 1053255.55 \text{ kg}$
 $406242.82 \text{ kg} < 895267 \text{ kg}$ **(Not Ok)**
- Untuk Gempa Arah Y :
 $V_{\text{dinamik}} \geq 85\% \cdot V_{\text{statik}}$
 $340320.52 \text{ kg} \geq 85\% \cdot 1053255.55 \text{ kg}$
 $340320.52 \text{ kg} < 895267 \text{ kg}$ **(Not Ok)**

Dari kontrol diatas, analisa struktur Apartemen Paviliun Permata masih belum memenuhi syarat nilai akhir respon. Pada pasal 11.14 SNI 1726:2012 pasal 7.9.4.2 dijelaskan apabila gaya geser dasar hasil analisis kurang dari 85%, maka harus diperbesar dengan faktor skala $0.85 \frac{C_s \cdot W}{V}$.

- Untuk Gempa Arah X :
 $0.85 \cdot \frac{0.040 \times 26580581.59}{406242.82} = 2.204$
- Untuk Gempa Arah X :
 $0.85 \cdot \frac{0.040 \times 26580581.59}{340320.52} = 2.631$

Tabel 4. 15 Gaya Geser Akibat Beban Gempa Setelah Dikalikan Dengan Faktor Skala

OutputCase	GlobalFX	GlobalFY
Text	Kgf	Kgf
RS-X	895359.17	228065.51
RS-Y	323938.86	895383.30

Kontrol :

- Untuk Gempa Arah X :
 $V_{\text{dinamik}} \geq 85\% \cdot V_{\text{statik}}$
 $895359.17 \text{ kg} \geq 85\% \cdot 1053255.55 \text{ kg}$
 $895359.17 \text{ kg} > 895267 \text{ kg}$ **(Ok)**
- Untuk Gempa Arah Y :
 $V_{\text{dinamik}} \geq 85\% \cdot V_{\text{statik}}$

$$895383.30 \text{ kg} \geq 85\% \cdot 1053255.55 \text{ kg}$$

$$895383.30 \text{ kg} > 895267 \text{ kg} \quad (\text{Ok})$$

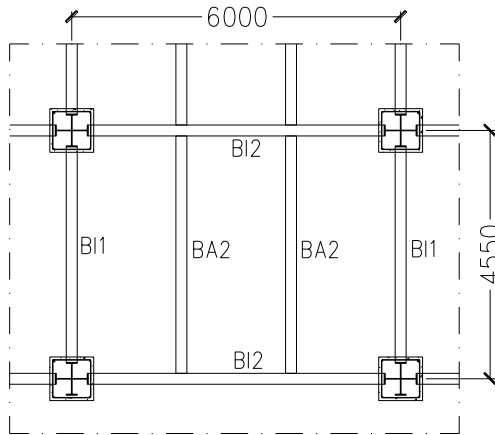
Dari kontrol di atas dapat disimpulkan bahwa analisis struktur Apartemen Pavilion Permata masih memenuhi persyaratan SNI 1726:2012 pasal 7.8.

4.6 Perencanaan Balok Induk

4.6.1 Perencanaan Balok Induk Memanjang (BI1)

Pada perencanaan Balok Induk Memanjang ditinjau dari frame yang mempunyai gaya dalam paling kritis (terbesar) dari hasil analisis SAP 2000 V18 yang mana terletak pada frame 1124 dengan kombinasi 1.2D+1Eqy+L. Gaya dalam ini nantinya akan digunakan untuk mendesain balok induk memanjang mulai dari lantai 1 sampai lantai 13 (lantai atap). Pada perencanaan balok induk memanjang ini digunakan profil WF 600×200×11×17 dengan data sebagai berikut:

W	= 105.5	kg/m	r	= 22	mm	S _y	= 228	cm ³
A	= 134.4	cm	i _x	= 24.03	cm	Z _x	= 4308.91	cm ³
b	= 200	mm	i _y	= 4.12	cm	Z _y	= 919.73	cm ³
d	= 600	mm	I _x	= 77600	cm ⁴	h	= 522	mm
t _f	= 17	mm	I _y	= 2280	cm ⁴			
t _w	= 11	mm	S _x	= 2587	cm ³			
BJ 41 :	f _y	= 2500	kg/cm ²			fr	= 700	kg/cm ²
	f _u	= 4100	kg/cm ²					
Beton :	f' _c	= 300	kg/cm ²			tebal pelat	= 9	cm
	h _r	= 5.3	cm			tb	= 3.7	cm
Panjang Balok Anak (L) = 600 cm								



Gambar 4. 30 Denah Balok Induk Memanjang Lantai 1-13
Tipikal (BI2)

a. Kondisi Sebelum Komposit

Pada kondisi sebelum komposit, berdasarkan hasil SAP 2000 V18 diperoleh gaya dalam maksimum sebagai berikut:

$$M_{\max} = 5910.99 \text{ kgm}$$

$$V_{\max} = 5855.45 \text{ kg}$$

b. Kontrol Penampang

- kontrol sayap

$$\frac{b_f}{2t_f} = \frac{200}{34} = 5.882$$

$$\lambda_p = \frac{170}{\sqrt{f_y}} = \frac{170}{\sqrt{250}} = 10.752$$

$$\frac{b_f}{2t_f} \leq \lambda_p \quad (\text{Ok})$$

- kontrol badan

$$\frac{h}{t_w} = \frac{522}{11} = 47$$

$$\lambda_p = \frac{1680}{\sqrt{f_y}} = \frac{1680}{\sqrt{250}} = 106$$

$$\frac{h}{tw} \leq \lambda_p \quad (\text{Ok})$$

Penampang kompak

$$M_n = M_p = F_y \cdot Z_x$$

$$M_n = 2500 \times 4309$$

$$= 10772280 \text{ kgcm}$$

$$= 107722.8 \text{ kgm}$$

$$\phi_b M_n \geq M_u \rightarrow \phi = 0.9 \quad (\text{SNI 1729:2015 Pasal F1})$$

$$96950.52 \text{ kgm} \geq 5910.99 \text{ kgm} \quad (\text{Ok})$$

c. Kontrol Lateral Buckling

$$L_b = 10.5 \text{ cm}$$

$$L_p = 1.76 \text{ iy} \sqrt{\frac{E}{f_y}}$$

$$= 1.76 \times 4.12 \times \sqrt{\frac{2 \times 10^6}{2500}}$$

$$= 205.09 \text{ cm}$$

$L_b \leq L_p$, Keadaan batas dari tekuk lateral tidak boleh digunakan (SNI 1729:2015 Pasal F2.1)

d. Kontrol Geser

$$V_n = 0.6 F_y A_w C_v$$

$$\frac{h}{tw} = \frac{522}{11}$$

$$= 47.455$$

$$2.24 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 2.24 \sqrt{\frac{2 \times 10^6}{2500}} = 63.357$$

$$V_n = 0.6 \times 2500 \times 66 \times 1 \quad (\text{SNI 1729:2015 Pasal G2.1})$$

$$= 99000 \text{ kg}$$

$$\phi_v V_n \geq V_u, \quad \phi = 1$$

$$\phi_v V_n \geq V_u$$

$$99000 \text{ kg} \geq 5855.45 \text{ kg} \quad (\text{Ok})$$

e. Kontrol Lendutan

$$\begin{aligned}\text{Lendutan ijin (f)} &= \frac{L}{360} \\ &= \frac{600}{360} \\ &= 1.667 \text{ cm}\end{aligned}$$

(SNI 03-1729-2002 Pasal 6.4.3 Tabel 6.4-1)

Lendutan hasil analisis SAP 2000 V18 = 0.045 cm

$$0.045 \text{ cm} \leq 1.667 \text{ cm} \quad (\text{Ok})$$

f. Kondisi Setelah Komposit

Pada kondisi setelah komposit, berdasarkan hasil SAP 2000 V18 diperoleh gaya dalam maksimum sebagai berikut:

$$M_{\max} = 7997.91 \text{ kgm}$$

$$M_{\min} = 12155.9 \text{ kgm}$$

$$V_{\max} = 7270.57 \text{ kg}$$

g. Menghitung Momen Nominal**Zona Momen Positif**

- Lebar efektif

$$\begin{aligned}B_{\text{eff}} &\leq 1/4L = 150 \text{ cm} \\ B_{\text{eff}} &\leq S = 300 \text{ cm}\end{aligned} \quad \left. \vphantom{\begin{aligned} B_{\text{eff}} &\leq 1/4L = 150 \text{ cm} \\ B_{\text{eff}} &\leq S = 300 \text{ cm} \end{aligned}} \right\} 150 \text{ cm}$$

(SNI 1729:2015 Pasal I3.1.1a)

$$h/t_w = 47.45$$

$$3.79 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 3.79 \sqrt{\frac{2 \times 10^5}{250}} = 107.20$$

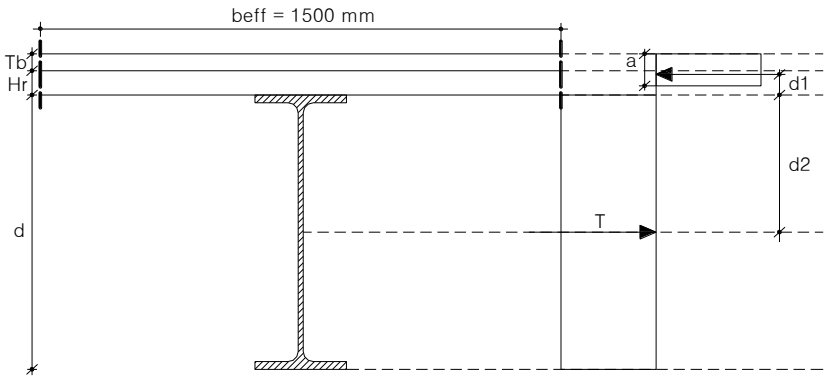
Dianalisa dengan distribusi tegangan plastis

(SNI 1729:2015 Pasal I3.2.2a)

$$\begin{aligned}C &= 0.85 f'_c t_{\text{pelat}} B_{\text{eff}} \\ &= 0.85 \times 300 \times (9 - 5.3) \times 150 \\ &= 141525 \text{ kg (Menentukan)}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}T &= A_s F_y \\ &= 134.4 \times 2500 \\ &= 336000 \text{ kg}\end{aligned}$$

$T > C$, maka garis netral terletak pada profil



Gambar 4. 31 Gaya yang bekerja pada penampang balok komposit

$$a = \frac{T}{0.85 \times f'_c \times b_{eff}}$$

$$= \frac{336000}{0.85 \times 300 \times 150}$$

$$= \frac{38250}{336000}$$

$$= 8.784 \text{ cm}$$

$$d_2 = \frac{T - C}{b \cdot 2f_y}$$

$$= \frac{336000 - 141525}{20 \times 2 \times 4100}$$

$$= \frac{194475}{164000}$$

$$= 1.186 \text{ cm}$$

$$M_n = T \left(\frac{d}{2} - d_2 \right) + C \left(\frac{t_{beton}}{2} + H_r + d_2 \right)$$

$$= 336000 \left(\frac{60}{2} - 1.186 \right) + 141525 \left(\frac{3.7}{2} + 5.3 + 1.186 \right)$$

$$= 10861290.79 \text{ kgcm}$$

$$= 108612.91 \text{ kgm}$$

$$\begin{aligned}\phi M_n &\geq M_u \longrightarrow \phi = 0.9 \text{ (SNI 1729:2015 Pasal I3.2.2a)} \\ 0.9 \times 108612.91 \text{ kgm} &\geq 7997.91 \text{ kgm} \\ 97752 \text{ kgm} &\geq 7997.91 \text{ kgm} \quad (\mathbf{Ok})\end{aligned}$$

h. Kontrol Lendutan

$$\begin{aligned}\text{Batas lendutan maks (f ijin)} &= \frac{L}{\frac{360}{600}} \\ &= \frac{360}{600} \\ &= 1.667 \text{ cm} \\ &\text{(SNI 03-1729-2002 Pasal 6.4.3 Tabel 6.4-1)}\end{aligned}$$

Lendutan dari hasil analisa SAP 2000 V18 = 0.428 cm

$$\begin{aligned}f_{ijin} &\geq f \\ 1.667 \text{ cm} &\geq 0.428 \text{ cm} \quad (\mathbf{Ok})\end{aligned}$$

i. Kontrol Geser

$$\begin{aligned}V_n &= 0.6 F_y A_w C_v \quad \text{(SNI 1729:2015 Pasal G2.1)} \\ &= 0.6 \times 2500 \times 60 \times 1.1 \times 1 \\ &= 99000 \text{ kg} \\ \frac{h}{t_w} &= \frac{522}{11} \\ &= 47.455 \text{ kg}\end{aligned}$$

$$2.24 \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 2.24 \sqrt{\frac{2 \times 10^5}{250}} = 63.357$$

$$\begin{aligned}\phi_v V_n &\geq V_u \longrightarrow \phi = 1 \quad \text{(SNI 1729:2015 Pasal G2.1)} \\ 99000 \text{ kg} &\geq 7270.57 \text{ kg} \quad (\mathbf{Ok})\end{aligned}$$

Zona Momen Negatif

$$\begin{aligned}T &= n \cdot A_r \cdot f_{y_r} \\ &= 5 \times 0.785 \times 2500 \\ &= 9812.5 \text{ kg}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}P_{yc} &= A_s \cdot f_y \\ &= 134.4 \times 2500 \\ &= 336000 \text{ kg}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Gaya pada badan profil Tf} \\ &= b_f \cdot t_f \cdot f_y\end{aligned}$$

$$= 20 \times 1.7 \times 2500$$

$$= 85000 \text{ kg}$$

Gaya pada badan profil Tw

$$= \frac{P_{yc} - T}{2} - t_f$$

$$= \frac{336000 - 9812.50}{2} - 1.7$$

$$= 163092.05 \text{ kg}$$

Jarak garis netral aw

$$aw = \frac{T_w}{f_y \cdot t_w}$$

$$= \frac{163092.05}{2500 \times 1.1}$$

$$= 59.306 \text{ mm} = 5.931 \text{ cm}$$

$$d2 = \frac{(T_f \times 0.5t_f) + (T_w(t_f + 0.5aw))}{T_f + T_w}$$

$$= \frac{(722500 \times 0.5 \times 1.7) + (163092.05 \times (1.7 + 0.5 \times 5.931))}{85000 + 163092.05}$$

$$= 20.902 \text{ cm}$$

$$d3 = \frac{d}{2} = \frac{60}{2} = 30 \text{ cm}$$

$$d1 = hr + tb - c$$

$$= 5.3 + 3.7 - 2$$

$$= 7 \text{ cm}$$

$$M_n = T(d1 + d2) + P_{yc}(d3 - d2)$$

$$= 273791.196 + 3056831.40$$

$$= 3330622.60 \text{ kgm}$$

$$\phi M_n \geq M_u \rightarrow \phi = 0.9$$

$$0.9 \times 3330622.60 \text{ kgm} \geq 12155.9 \text{ kgm}$$

$$2997560.34 \text{ kgm} \geq 12155.9 \text{ kgm} \quad (\text{Ok})$$

4.6.2 Perencanaan Penghubung Geser

Direncanakan penghubung geser yang dipakai adalah tipe stud, dengan data sebagai berikut:

$$d_s = 16 \text{ mm}$$

$$A_{sc} = 201.06 \text{ mm}^2$$

$$f_u = 410 \text{ MPa} = 41 \text{ kg/mm}^2$$

$$\begin{aligned} E_c &= 0.043 \times W_c^{1.5} \sqrt{f'_c} \\ &= 0.043 \times 2400^{1.5} \sqrt{30} \\ &= 27691.466 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$Q_n = 0.5 A_{sc} \sqrt{f'_c E_c} \leq R_g R_p A_{sc} F_u \quad (\text{SNI 1729:2015 Pasal I8.2a})$$

$$= 0.5 \times 201.06 \sqrt{30 \times 27691.466}$$

$$= 9162.911 \text{ kg/stud}$$

$$\begin{aligned} R_g R_p A_{sc} F_u &= 1 \times 0.75 \times 201.06 \times 1 \\ &= 6182.654 \text{ kg/stud (menentukan)} \end{aligned}$$

Jumlah penghubung geser momen positif:

$$\begin{aligned} (N) &= \frac{V'}{Q_n} = \frac{336000}{6182.654} \\ &= 54.346 \approx 55 \text{ buah} \end{aligned}$$

55 buah untuk $\frac{1}{2}$ bentang, maka kebutuhan total stud adalah 110 buah.

Jumlah penghubung geser momen negatif:

$$\begin{aligned} (N) &= \frac{V'}{Q_n} = \frac{9812.50}{6182.654} \\ &= 1.587 \approx 2 \text{ buah} \end{aligned}$$

2 buah untuk $\frac{1}{2}$ bentang, maka kebutuhan total stud adalah 4 buah.

Jika dipasang 2 stud per penampang melintang maka jarak stud (S) adalah :

$$(S) = \frac{6000}{114/2} = 105 \text{ mm}$$

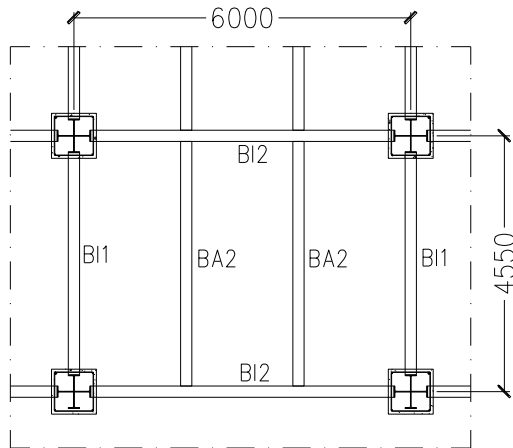
Jarak stud melintang :

$$(S1) = 4D = 4 \times 16 = 64 \text{ mm}$$

4.6.3 Perencanaan Balok Induk Melintang (BI2)

Pada perencanaan Balok Induk Memanjang ditinjau dari frame yang mempunyai gaya dalam paling kritis (terbesar) dari hasil analisis SAP 2000 V18 yang mana terletak pada frame 1303 dengan kombinasi 1.2D+1Eqy+L. Gaya dalam ini nantinya akan digunakan untuk mendesain balok induk memanjang mulai dari lantai 1 sampai lantai 13 (lantai atap). Pada perencanaan balok induk memanjang ini digunakan profil WF 600×200×11×17 dengan data sebagai berikut:

W	= 105.5	kg/m	r	= 22	mm	Sy	= 228	cm ³
A	= 134.4	cm	ix	= 24.03	cm	Zx	= 4308.91	cm ³
b	= 200	mm	iy	= 4.12	cm	Zy	= 919.73	cm ³
d	= 600	mm	Ix	= 77600	cm ⁴	h	= 522	mm
tf	= 17	mm	Iy	= 2280	cm ⁴			
tw	= 11	mm	Sx	= 2587	cm ³			
BJ 41 :						fy	= 2500	kg/cm ²
						fu	= 4100	kg/cm ²
Beton :						f'c	= 300	kg/cm ²
						hr	= 5.3	cm
Panjang Balok Anak(L)								= 455 cm
						fr	= 700	kg/cm ²
						tebal pelat	= 9	cm
						tb	= 3.7	cm



Gambar 4. 32 Denah Balok Induk Melintang Lantai 1-13 Tipikal (BI2)

a. Kondisi Sebelum Komposit

Pada kondisi sebelum komposit, berdasarkan hasil SAP 2000 diperoleh gaya dalam maksimum sebagai berikut:

$$M_{\max} = 3142.75 \text{ kgm}$$

$$V_{\max} = 4499.18 \text{ kg}$$

b. Kontrol Penampang

- kontrol sayap

$$\frac{b_f}{2t_f} = \frac{200}{34} = 5.882$$

$$\lambda_p = \frac{170}{\sqrt{f_y}} = \frac{170}{\sqrt{250}} = 10.752$$

$$\frac{b_f}{2t_f} \leq \lambda_p = \frac{170}{\sqrt{f_y}} \quad (\text{Ok})$$

- kontrol badan

$$\frac{h}{t_w} = \frac{522}{11} = 47$$

$$\lambda_p = \frac{1680}{\sqrt{f_y}} = \frac{1680}{\sqrt{250}} = 106$$

$$\frac{h}{tw} \leq \lambda_p = \frac{1680}{\sqrt{f_y}} \quad (\text{Ok})$$

Penampang kompak

$$M_n = M_p = F_y \cdot Z_x$$

$$M_n = 2500 \times 4308.91$$

$$= 10772280 \text{ kgcm}$$

$$= 107722.80 \text{ kgm}$$

$$\phi_b M_n \geq M_u \longrightarrow \phi = 0.9 \text{ (SNI 1729:2015 Pasal F1)}$$

$$0.9 \times 107722.80 \text{ kgm} \geq 3142.75 \text{ kgm}$$

$$96950.52 \text{ kgm} \geq 3142.75 \text{ kgm} \quad (\text{Ok})$$

c. Kontrol Lateral Buckling

$$L_b = 8 \text{ cm}$$

$$L_p = 1.76 i_y \sqrt{\frac{E}{f_y}}$$

$$= 1.76 \times 4.12 \times \sqrt{\frac{2 \times 10^6}{2500}}$$

$$= 205.09 \text{ cm}$$

$L_b \leq L_p$, Keadaan batas dari tekuk lateral tidak boleh digunakan

(SNI 1729:2015 Pasal F2.1)

d. Kontrol Geser

$$V_n = 0.6 F_y A_w C_v$$

(SNI 1729:2015 Pasal G2.1)

$$\frac{h}{tw} = \frac{522}{11}$$

$$= 47.455$$

$$2.24 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 2.24 \sqrt{\frac{2 \times 10^6}{2500}} = 63.357$$

$$V_n = 0.6 \times 2500 \times 66 \times 1$$

$$= 99000 \text{ kg}$$

$$\phi_v V_n \geq V_u, \quad \phi = 1$$

$$1 \times 99000 \text{ kg} \geq 4499.18 \text{ kg}$$

$$99000 \text{ kg} \geq 4499.18 \text{ kg} \quad (\text{Ok})$$

e. Kontrol Lendutan

$$\begin{aligned} \text{Lendutan ijin } (f) &= \frac{L}{360} \\ &= \frac{455}{360} \\ &= 1.264 \text{ cm} \end{aligned}$$

(SNI 03-1729-2002 Pasal 6.4.3 Tabel 6.4-1)

Lendutan dari hasil analisis SAP 2000 = 0.045 cm

$$f^o = 0.045 \text{ cm} \leq 1.264 \text{ cm} \quad (\text{Ok})$$

f. Kondisi Setelah Komposit

Pada kondisi setelah komposit, berdasarkan hasil analisis SAP 2000 diperoleh gaya dalam maksimum sebagai berikut:

$$M_{\max} = 8100.46 \text{ kgm}$$

$$M_{\min} = 12279.67 \text{ kgm}$$

$$V_{\max} = 7664.06 \text{ kg}$$

g. Menghitung Momen Nominal

Zona momen positif

- Lebar efektif

$$\begin{aligned} B_{\text{eff}} &\leq 1/4L = 113.75 \text{ cm} \\ B_{\text{eff}} &\leq S = 300 \text{ cm} \end{aligned} \quad \left. \vphantom{\begin{aligned} B_{\text{eff}} &\leq 1/4L = 113.75 \text{ cm} \\ B_{\text{eff}} &\leq S = 300 \text{ cm} \end{aligned}} \right\} 113.8 \text{ cm}$$

(SNI 1729:2015 Pasal I3.1.1a)

$$h/tw = 54.10$$

$$3.79 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 3.79 \sqrt{\frac{2 \times 10^5}{250}} = 107.20$$

Dianalisa dengan distribusi tegangan plastis

(SNI 1729:2015 Pasal I3.1.1a)

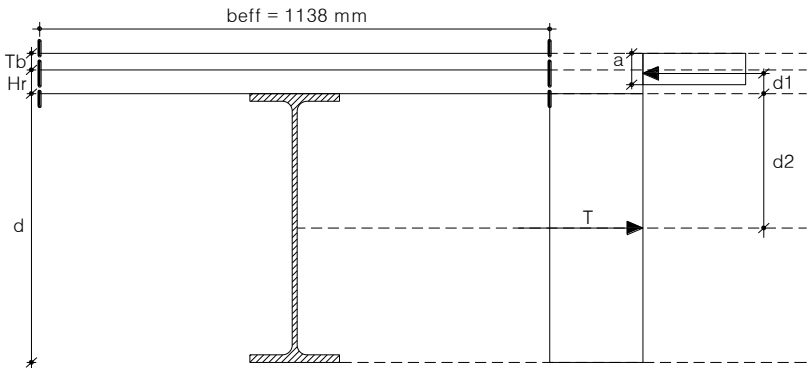
$$\begin{aligned} C &= 0.85 f'_c t_{\text{pelat}} B_{\text{eff}} \\ &= 0.85 \times 300 \times (9 - 5.3) \times 113.8 \\ &= 107323 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$T = A_s F_y$$

$$= 134.4 \times 2500$$

$$= 336000 \text{ kg (menentukan)}$$

$T > C$, maka garis netral terletak pada profil



Gambar 4. 33 Gaya yang bekerja pada penampang balok komposit

$$\begin{aligned} a &= \frac{T}{0.85 \times f'_c \times b_{\text{eff}}} \\ &= \frac{336000}{0.85 \times 4100 \times 113.8} \\ &= \frac{396418.75}{336000} \\ &= 0.848 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} d_2 &= \frac{T - C}{b \cdot 2f_y} \\ &= \frac{336000 - 107323}{20 \times 2 \times 2500} \\ &= \frac{228677}{100000} \\ &= 2.287 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$M_n = T \left(\frac{d}{2} - d_2 \right) + C \left(\frac{t_{\text{beton}}}{2} + H_r + d_2 \right)$$

$$\begin{aligned}
 &= 336000 \left(\frac{60}{2} - 2.287 \right) + 107323 \left(\frac{3.7}{2} + 5.3 + 2.287 \right) \\
 &= 10324429.21 \text{ kgcm} \\
 &= 103244.29 \text{ kgm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \phi M_n &\geq M_u \longrightarrow \phi = 0.9 \quad (\text{SNI 1729:2015 Pasal I3.2.2a}) \\
 0.9 \times 103244.29 \text{ kgm} &\geq 7997.91 \text{ kgm} \\
 92920 \text{ kgm} &\geq 8100.46 \text{ kgm} \quad (\text{Ok})
 \end{aligned}$$

h. Kontrol Lendutan

$$\begin{aligned}
 f_{ijin} &= \frac{L}{\frac{360}{455}} \\
 &= \frac{360}{455} \\
 &= 1.264 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

(SNI 03-1729-2002 Pasal 6.4.3 Tabel 6.4-1)

Lendutan dari hasil analisa SAP 2000 = 0.976 mm

$$\begin{aligned}
 f_{ijin} &\geq f^o \\
 1.667 \text{ cm} &\geq 0.976 \text{ mm} \quad (\text{Ok})
 \end{aligned}$$

i. Kontrol Geser

$$\begin{aligned}
 V_n &= 0.6 F_y A_w C_v \quad (\text{SNI 1729:2015 Pasal G2.1}) \\
 &= 0.6 \times 2500 \times 60 \times 1.1 \times 1 \\
 &= 9900 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \frac{h}{t_w} &= \frac{522}{11} \\
 &= 47.455 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

$$2.24 \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 2.24 \sqrt{\frac{2 \times 10^5}{250}} = 63.357$$

$$\begin{aligned}
 \phi V_n &\geq V_u \rightarrow \phi = 1.0 \quad (\text{SNI 1729:2015 Pasal G2.1}) \\
 9900 \text{ kg} &\geq 7270.57 \text{ kg} \quad (\text{Ok})
 \end{aligned}$$

Zona Momen Negatif

$$\begin{aligned}
 T &= n \cdot A_r \cdot f_{y_r} \\
 &= 5 \times 0.785 \times 2500 \\
 &= 9812.5 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

$$P_{yc} = A_s \cdot f_y$$

$$= 134.4 \times 2500$$

$$= 336000 \text{ kg}$$

Gaya pada badan profil Tf

$$= b_f \cdot t_f \cdot f_y$$

$$= 20 \times 1.7 \times 2500$$

$$= 85000 \text{ kg}$$

Gaya pada badan profil tw

$$= \frac{P_{yc} - T}{2} - t_f$$

$$= \frac{336000 - 9812.50}{2} - 1.7$$

$$= 163092.05 \text{ kg}$$

Jarak garis netral aw

$$aw = \frac{T_w}{f_y \cdot t_w}$$

$$= \frac{163092.05}{2500 \times 1.7}$$

$$= 38.375 \text{ cm} = 383.75 \text{ mm}$$

$$d2 = \frac{(T_f \times 0.5t_f) + (T_w(t_f + 0.5aw))}{T_f + T_w}$$

$$= \frac{(85000 \times 0.5 \times 1.7) + (163092.05(1.7 + 0.5 \times 38.375))}{85000 + 163092.05}$$

$$= 24.009 \text{ cm}$$

$$d3 = \frac{d}{2} = \frac{60}{2} = 30 \text{ cm}$$

$$d1 = hr + tb - c$$

$$= 5.3 + 3.7 - 2$$

$$= 7 \text{ cm}$$

$$M_n = T(d1 + d2) + P_{yc}(d3 - d2)$$

$$= 04280.1849 + 2012826.28$$

$$= 2317106.466 \text{ kgm}$$

$$\phi M_n \geq M_u \rightarrow \phi = 0.9$$

$$0.9 \times 2317106.466 \text{ kgm} \geq 12155.9 \text{ kgm}$$

$$2085395.82 \text{ kgm} \geq 12279.67 \text{ kgm} \quad (\mathbf{Ok})$$

4.6.4 Perencanaan Penghubung Geser

Direncanakan penghubung geser yang dipakai adalah tipe stud, dengan data sebagai berikut:

$$d_s = 16 \text{ mm}$$

$$A_{sc} = 201.06 \text{ mm}^2$$

$$f_u = 410 \text{ MPa} = 41 \text{ kg/mm}^2$$

$$\begin{aligned} E_c &= 0.043 \times W_c^{1.5} \sqrt{f_c'} \\ &= 0.043 \times 2400^{1.5} \sqrt{30} \\ &= 27691.466 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Q_n &= 0.5 A_{sc} \sqrt{f_c' E_c} \leq R_g R_p A_{sc} F_u \\ &\quad \text{(SNI 1729:2015 Pasal I8.2a)} \\ &= 0.5 \times 201.06 \sqrt{30 \times 27691.466} \\ &= 9162.911 \text{ kg/stud} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} R_g R_p A_{sc} F_u &= 1 \times 0.75 \times 201.06 \times 41 \\ &= 6182.654 \text{ kg/stud (menentukan)} \end{aligned}$$

Jumlah penghubung geser momen positif:

$$\begin{aligned} (N) &= \frac{V'}{Q_n} = \frac{336000}{6182.654} \\ &= 54.346 \approx 55 \text{ buah} \end{aligned}$$

55 buah untuk $\frac{1}{2}$ bentang, maka kebutuhan total stud adalah 110 buah.

Jumlah penghubung geser momen negatif:

$$\begin{aligned} (N) &= \frac{V'}{Q_n} = \frac{9812.50}{6182.654} \\ &= 1.587 \approx 2 \text{ buah} \end{aligned}$$

2 buah untuk $\frac{1}{2}$ bentang, maka kebutuhan total stud adalah 4 buah.

Jika dipasang 2 stud per penampang melintang maka jarak stud adalah :

$$(S) = \frac{4550}{114/2} = 80 \text{ mm}$$

Jarak stud melintang :

$$(S1) = 4D = 4 \times 16 = 64 \text{ mm}$$

4.7 Perencanaan Kolom Komposit (K1)

Kolom direncanakan menggunakan kolom KC 588x300x12x20, dengan data sebagai berikut:

$$W = 302 \text{ kg/m} \quad t_f = 20 \text{ mm} \quad i_y = 18.16 \text{ cm}$$

$$A = 385 \text{ cm}^2 \quad t_w = 12 \text{ mm} \quad I_x = 127020 \text{ cm}^4$$

$$H = 588 \text{ mm} \quad r = 28.00 \text{ mm} \quad I_y = 132585 \text{ cm}^4$$

$$B = 300 \text{ mm} \quad i_x = 18.16 \text{ cm} \quad Z_x = 4320.4 \text{ mm}^3$$

$$\text{BJ 41 : } f_y = 2500 \text{ kg/cm}^2 \quad f_r = 700 \text{ kg/cm}^2$$

$$f_u = 4100 \text{ kg/cm}^2$$

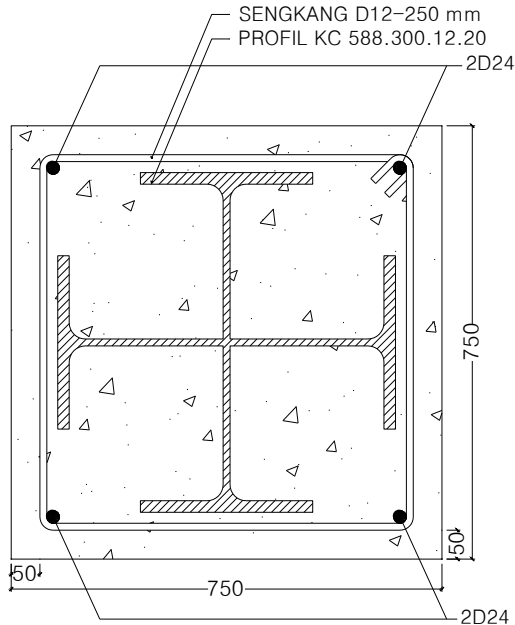
$$\text{Beton : } f'_c = 300 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{Diameter tulangan utama : } 24 \text{ mm}$$

$$\text{Diameter tulangan sengkang : } 12 \text{ mm}$$

$$\text{Tinggi kolom} = 3500 \text{ mm}$$

$$b \times h = 750 \times 750 \text{ mm}$$



Gambar 4. 34 Penampang Kolom Komposit (K1)

Kontrol luas penampang minimum profil baja :

$$\rho_{sr} = \frac{A_{sr}}{A_g} = \frac{385}{5625} = 0.06844 > \rho_{sr \min} = 0.004 \quad (\text{Ok})$$

Kontrol jarak sengkang = 250 mm < 406 mm

(SNI 1729:2015 Pasal I2.1a (2))

Kontrol mutu beton = 21 MPa < 30 MPa < 70 MPa

(SNI 1729:2015 Pasal I1.3)

Kontrol mutu tulangan = 250 MPa < 525 MPa

(SNI 1729:2015 Pasal I1.3)

a. Kontrol Kekuatan Tekan

Dari hasil SAP 2000 diperoleh gaya dalam maksimum pada kolom frame xx kombinasi 1.2D+1Eqy+L sebagai berikut :

$$P_u = 729443.98 \text{ kg} = 71534301.83 \text{ N}$$

$$M_{ux} = 20276.24 \text{ kgm}$$

$$M_{uy} = 52954.62 \text{ kgm}$$

$$\begin{aligned} P_{no} &= F_y A_s + F_{yrs} A_{sr} + 0.85 f'_c A_c \\ &= 250 \times 385 \times 10^2 + 250 \times 379.94 + 0.85 \times 3 \times 640000 \\ &= 26039985 \text{ N} \end{aligned}$$

(SNI 1729:2015 Pasal I2.1b)

$$P_e = \frac{\pi^2(EI_{eff})}{(KL)^2} = \frac{\pi^2(E_s I_s + 0.5E_s I_{sr} + C_1 E_s I_c)}{(KL)^2}$$

$$\begin{aligned} C_1 &= 0.1 + 2 \left(\frac{A_s}{A_c A_s} \right) \leq 0.3 \\ &= 0.1 + 2 \left(\frac{385}{6400 \times 385} \right) \leq 0.3 \\ &= 0.10031 \leq 0.3 \quad (\text{Ok}) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} E_c &= 0.043 W_c^{1.5} \sqrt{f'_c} \\ &= 0.043 \times 2400^{1.5} \sqrt{30} \\ &= 27691.466 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} E_s I_s &= 200000 \times 1270200000 \\ &= 2.54 \times 10^{14} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 0.5E_s I_{sr} &= 0.5 \times 200000 \times \frac{1}{4} \pi \times 22^2 \times \left(\frac{750 - 2 \times 40 - 2 \times 12 - 22}{2} \right)^2 \\ &= 3.698 \times 10^{12} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} C_1 E_c I_c &= 0.10031 \times 27691.466 \times 750^2 \times \left(\frac{1}{2} \times 750 \right)^2 \\ &= 2.20 \times 10^{14} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} (KL)^2 &= (1 \times 350)^2 \\ &= 12250000 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_e &= \frac{\pi^2(2.540 \times 10^{14} + 3.698 \times 10^{12} + 2.197 \times 10^{14})}{(1 \times 350)^2} \\ &= 384296479.379 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\frac{P_{no}}{P_e} = \frac{26039985}{384296479.379}$$

$$= 0.068 \leq 2.25 \quad \rightarrow \quad P_n = P_{no} \left[0.658 \frac{P_{no}}{P_e} \right]$$

(SNI 1729:2015 Pasal I2.1b)

$$\begin{aligned}
P_n &= P_{no} \left[0.658 \frac{P_{no}}{P_e} \right] \\
&= 26039985 \left[0.658 \left(\frac{26039985}{384296479.379} \right) \right] \\
&= 25311838.451 \text{ N} \quad (\text{SNI 1729:2015 Pasal I2.1b}) \\
\phi_c P_n &= 0.75 \times 25311838.451 \\
&= 18983878.823 \text{ N} \quad (\text{SNI 1729:2015 Pasal I2.1b}) \\
P_u &< \phi_c P_n \quad (\text{SNI 1729:2015 Pasal I2.1b}) \\
71534301.83 \text{ N} &< 18983878.823 \text{ N} \quad (\text{Ok})
\end{aligned}$$

b. Kontrol Kekuatan Lentur

Kuat nominal kolom menurut Smith (1996):

$$\begin{aligned}
M_{nc} &= F_y Z - \frac{1}{3} \left(5 - 2C_r A_{sr} F_{yr} - \left(\frac{h}{2} - \frac{A_w F_y}{1.7 f'_c h} \right) A_w F_y \right) \\
C_r &= 40 + 12 + \left(\frac{22}{2} \right) = 63 \text{ mm} = 6.3 \text{ cm} \\
A_{sr} &= 4 \times 1/4 \times \pi \times 22^2 \\
&= 1520.53 \text{ mm}^2 \\
&= 15.2053 \text{ cm}^2 \\
A_w &= (588 - 2 \times 20) \times 12 \times 2 \\
&= 13152 \text{ mm}^2 \\
&= 131.52 \text{ cm}^2 \\
H &= 588 \text{ mm} \\
&= 58.8 \text{ cm} \\
M_{nc} &= F_y Z \frac{1}{3} \left(5 - 2C_r A_{sr} F_{yr} - \left(\frac{h}{2} - \frac{A_w F_y}{1.7 f'_c h} \right) A_w F_y \right) \\
M_{nx} &= 2500 \times 4320.4 \times \frac{1}{3} \left(5 - 2 \times 6.3 \times 15.205 \times 2500 - \right. \\
&\quad \left. \left(\frac{588}{2} - \frac{131.52 \times 2500}{1.7 \times 30 \times 58.8} \right) 131.52 \times 2500 \right) \\
&= 12981197.39 \text{ kgcm} \\
&= 129811.974 \text{ kgm} \\
\phi M_{nx} &= 0.9 \times 129811.974 \\
&= 116830.777 \text{ kgm} \\
M_{ux} &< \phi M_{nx} \\
20276.24 \text{ kgm} &< 0.9 \times 129811.974 \text{ kgm}
\end{aligned}$$

$$20276.24 \text{ kgm} < 116830.777 \text{ kgm} \quad (\text{Ok})$$

$$\begin{aligned} M_{ny} &= 2500 \times 4419.5 \times \frac{1}{3} \left(5 - 2 \times 6.3 \times 15.205 \times 2500 - \right. \\ &\quad \left. \left(\frac{588}{2} - \frac{131.52 \times 2500}{1.7 \times 30 \times 58.8} \right) 131.52 \times 2500 \right) \\ &= 13228947.39 \text{ kgcm} \\ &= 132289.4739 \text{ kgm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi M_{ny} &= 0.9 \times 132289.474 \\ &= 119060.527 \text{ kgm} \end{aligned}$$

$$M_{uy} < \phi M_{ny}$$

$$52954.62 \text{ kgm} < 0.9 \times 132289.4739 \text{ kgm}$$

$$52954.62 \text{ kgm} < 119060.527 \text{ kgm} \quad (\text{Ok})$$

c. Kontrol Persamaan Interaksi

$$P_r = P_u = 71534301.83 \text{ N}$$

$$\begin{aligned} P_c = \phi_c P_u &= 0.75 \times 25311838.45 \\ &= 18983878.84 \text{ N} \end{aligned}$$

$$M_r = M_u$$

$$M_c < \phi M_n$$

$$\begin{aligned} \frac{P_r}{P_c} = \frac{71534301.83}{18983878.84} &= 0.377 > 0.2 \rightarrow \frac{P_r}{2P_c} + \left(\frac{M_{rx}}{M_{cx}} + \frac{M_{ry}}{M_{cy}} \right) \\ &\quad (\text{SNI 1729:2015 Pasal H1.1}) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} &\frac{P_r}{2P_c} + \left(\frac{M_{rx}}{M_{cx}} + \frac{M_{ry}}{M_{cy}} \right) \\ &= \frac{71534301.83}{2 \times 18983878.84} + \left(\frac{20276.24}{116830.78} + \frac{52954.62}{119060.527} \right) \\ &= 0.807 \leq 1 \quad (\text{Ok}) \end{aligned}$$

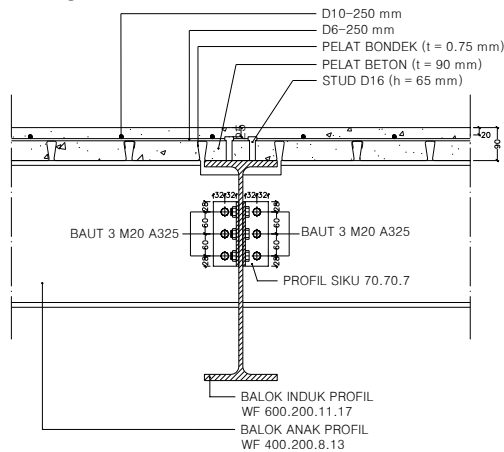
4.8 Perencanaan Sambungan

4.8.1 Sambungan Balok Anak dengan Balok Induk

Profil balok anak menggunakan WF 400x200x7x11 akan disambungkan dengan balok induk profil WF 600x200x11x17 dengan menggunakan sambungan *simple connection* karena balok anak diasumsikan menggunakan tumpuan jepit. Sambungan menggunakan baut dan pelat siku 70x70x7 dengan mutu BJ 50.

Sambungan ini akan menerima beban geser yang didapat dari program SAP 2000 V18 sebesar:

$$V_u = 4310.715 \text{ kg}$$



Gambar 4. 35 Sambungan balok anak dan balok induk

- **Sambungan pada badan balok anak**

Menggunakan baut tipe A325 (tanpa ulir pada bidang geser)

$$\phi 20 \text{ mm} ; A_b = 0.25 \pi d^2 = 0.25 \times \pi \times 20^2 = 314.16 \text{ mm}^2$$

Kuat Geser

$$\begin{aligned} R_n &= F_n \cdot A_b \\ &= 620 \times 314.16 \\ &= 194778.74 \text{ N} \\ &= 19861.90 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi R_n &= 0.75 \times 19861.90 \\ &= 14896.43 \text{ kg} \end{aligned}$$

Kuat Tumpu

$$\begin{aligned}
 R_n &= 1.2 l_c t F_u \\
 &= 1.2 \times 26 \times 7 \times 500 \\
 &= 109200 \text{ N} \\
 &= 11135.30 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \phi R_n &= 0.75 \times 11135.30 \\
 &= 8351.48 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Jumlah baut (n)} &= \frac{V_u}{\phi R_n} \\
 &= \frac{4310.715}{8351.48} \\
 &= 0.516 \approx 2 \text{ buah}
 \end{aligned}$$

$$\text{Jarak tepi (S1)} = 28 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Jarak antar baut (S2)} &= 3d \\
 &= 3 \times 20 \\
 &= 60 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

- **Sambungan pada badan balok induk**

Kuat Geser

$$\begin{aligned}
 R_n &= F_n \cdot A_b \\
 &= 620 \times 314.16 \\
 &= 194778.74 \text{ N} \\
 &= 19861.90 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \phi R_n &= 0.75 \times 19861.90 \\
 &= 14896.43 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

Kuat Tumpu

$$\begin{aligned}
 R_n &= 1.2 l_c t F_u \\
 &= 1.2 \times 26 \times 11 \times 500 \\
 &= 171600 \text{ N} \\
 &= 17498.33 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \phi R_n &= 0.75 \times 17498.33 \\
 &= 13123.75 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Jumlah baut (n)} &= \frac{V_u}{\phi R_n} \\
 &= \frac{4310.715}{13123.75} \\
 &= 0.328 \approx 2 \text{ buah}
 \end{aligned}$$

$$\text{Jarak tepi (S1)} = 28 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Jarak antar baut (S2)} &= 3d \\
 &= 3 \times 20 \\
 &= 60 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

- **Kontrol kekuatan pelat siku**

$$\text{Diameter perlemahan } d1 = 20 + 2 = 22 \text{ mm}$$

$$R_n = F_u \cdot A_e \quad (\text{SNI 1729:2015 Pasal J4.1})$$

$$= 500 \times (70 \times 7 - 2 \times 22 \times 7) \times 0.6$$

$$= 54600 \text{ N}$$

$$= 535443.09 \text{ kg}$$

$$2\phi R_n = 2 \times 0.75 \times 535443.09$$

$$= 803164.64 \text{ kg} > 4310.715 \text{ kg} \quad (\text{Ok})$$

4.8.2 Sambungan Balok Induk dengan Kolom

Profil balok anak menggunakan WF 400x200x7x11 akan disambungkan dengan balok induk profil WF 600x200x11x17 dengan menggunakan sambungan kaku (*rigid connection*) karena balok anak diasumsikan menggunakan tumpuan jepit sempurna. Sambungan menggunakan baut, untuk sambungan web balok akan menggunakan pelat siku 70x70x7 dan sambungan pada flens balok menggunakan profil T untuk menambah lengan kopel dengan mutu BJ 50.

Sambungan ini akan menerima beban geser dan momen yang didapat dari program SAP 2000 V18 sebesar:

$$M_u = 12155.90 \text{ kgm}$$

$$V_u = 7270.57 \text{ kg (menentukan)}$$

Cek juga besar V_u akibat kapasitas penampang balok

$$V_{u \ 1.2D+0.5L} = 2783.65 \text{ kg}$$

$$M_u = 1.1 R_y f_y Z$$

$$= 1.1 \times 1.5 \times 2900 \times 4308.91$$

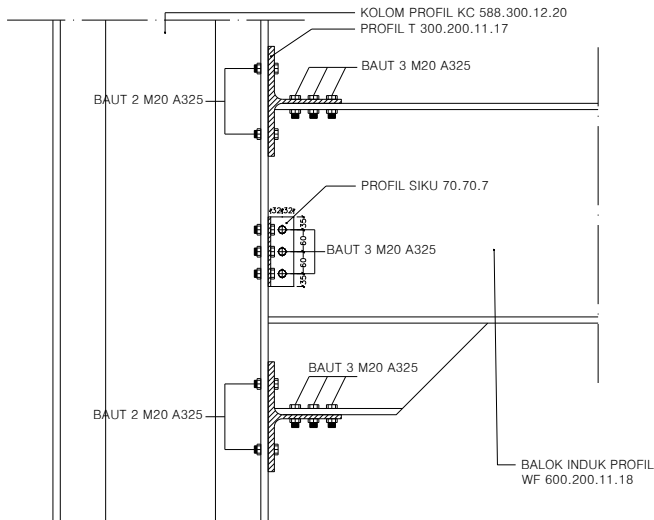
$$= 20618143.92 \text{ kgcm}$$

$$= 206181.44 \text{ kgm}$$

$$\frac{2M_u}{L} = 2 \times 206181.44 / 6$$

$$= 68727.15 \text{ kg}$$

$$\begin{aligned} V_u \text{ akibat kapasitas penampang} &= V_{u1.2D+0.5L} + 2 \times M_u/L \\ &= 2783.65 \text{ kg} + 68727.15 \text{ kg} \\ &= 71510.80 \text{ kg} \end{aligned}$$



Gambar 4. 36 Sambungan balok induk dengan kolom

1. Akibat beban geser V_u

- Sambungan pada badan balok induk

Kuat Geser

$$R_n = F_n \cdot A_b$$

$$= 620 \times 314.16$$

$$= 194778.74 \text{ N}$$

$$= 19861.90 \text{ kg}$$

$$\phi R_n = 0.75 \times 19861.90$$

$$= 14896.43 \text{ kg}$$

Kuat Tumpu

$$\begin{aligned}
 R_n &= 1.2 l_c t F_u \\
 &= 1.2 \times 26 \times 11 \times 500 \\
 &= 171600 \text{ N} \\
 &= 17498.33 \text{ kg} \\
 \phi R_n &= 0.75 \times 17498.33 \\
 &= 13123.75 \text{ kg} \\
 \text{Jumlah baut (n)} &= \frac{V_u + M_u}{\phi R_n} \\
 &= \frac{7270.57 + 12155.90}{13123.75} \\
 &= 1.480 \approx 2 \text{ buah} \\
 \text{Jarak tepi (S1)} &= 26 \text{ mm} \\
 \text{Jarak antar baut (S2)} &= 3d \\
 &= 3 \times 20 \\
 &= 60 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

- **Sambungan pada sayap kolom**

Kuat Geser

$$\begin{aligned}
 R_n &= F_n \cdot A_b \\
 &= 620 \times 314.16 \\
 &= 194778.74 \text{ N} \\
 &= 19861.90 \text{ kg} \\
 \phi R_n &= 0.75 \times 19861.90 \\
 &= 14896.43 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

Kuat Tumpu

$$\begin{aligned}
 R_n &= 1.2 l_c t F_u \\
 &= 1.2 \times 28 \times 20 \times 500 \\
 &= 336000 \text{ N} \\
 &= 34262.46 \text{ kg} \\
 \phi R_n &= 0.75 \times 34262.46 \\
 &= 25696.85 \text{ kg} \\
 \text{Jumlah baut (n)} &= \frac{V_u + M_u}{\phi R_n}
 \end{aligned}$$

$$= \frac{7270.57 + 12155.90}{14896.43} \\ = 1.304 \approx 2 \text{ buah}$$

Jarak tepi (S1) = 26 mm

Jarak antar baut (S2) = 3d

$$= 3 \times 20$$

$$= 60 \text{ mm}$$

- **Kontrol kekuatan pelat siku**

Diameter perlemahan $d_l = 20 + 2 = 22 \text{ mm}$

$$R_n = F_u \cdot A_e \quad (\text{SNI 1729:2015 Pasal J4.1})$$

$$= 500 \times (70 \times 7 - 2 \times 22 \times 7) \times 0.6$$

$$= 54600 \text{ N}$$

$$= 5567.65 \text{ kg}$$

$$2\phi R_n = 2 \times 0.75 \times 5567.65$$

$$= 8351.48 \text{ kg} > 7270.57 \text{ kg} \quad (\text{Ok})$$

2. Akibat beban momen Mu

- **Sambungan pada sayap profil T-Kolom**

Gaya tarik akibat momen

$$T = \frac{M_u}{2d_{\text{balok}}} \\ = \frac{137003.12}{2 \times 0.6} \\ = 114169.26 \text{ kg}$$

Kuat tarik baut:

$$R_n = F_n \cdot A_b$$

$$= 620 \times 314.16$$

$$= 194778.74 \text{ N}$$

$$= 19861.90 \text{ kg}$$

$$\phi R_n = 0.75 \times 19861.90$$

$$= 14896.43 \text{ kg}$$

Kuat tarik ketika digunakan 2 baut dalam 1 baris:

$$B = 2\phi R_n$$

$$= 2 \times 0.75 \times 19861.90$$

$$= 29792.86 \text{ kg} < 114169.26 \text{ kg}$$

Perlu tambahan profil T untuk menambah lengan kopel

$$\begin{aligned}\text{Lengan kopel minimum} &= \frac{M_u}{2B} \\ &= \frac{137003.12}{2 \times 29792.86} \\ &= 2.299 \text{ m} \\ &= 230 \text{ cm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Sehingga perlu lengan tambahan} &= 230 - 60 \\ &= 170 \text{ cm}\end{aligned}$$

Gaya tarik setelah tambahan lengan kopel

$$\begin{aligned}T &= \frac{M_u}{2d_{\text{kopel}}} \\ &= \frac{137003.12}{2 \times 2.30} \\ &= 29783.29 \text{ kg}\end{aligned}$$

Dengan menggunakan profil T 400x300x14x26, maka:

$$\begin{aligned}c &= r + 0.5tw \\ &= 28 + 0.5 \times 14 \\ &= 35 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}a + b &= 0.5bf - c \\ &= 0.5 \times 300 - 35 \\ &= 115 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$b = 68 \text{ mm} \quad (\text{direncanakan})$$

$$a = 47 \text{ mm}$$

Syarat menurut Kulak, Fisher, Strunk $a \leq 1.25b$

$$\begin{aligned}a' &= a + 0.5db \\ &= 115 + 0.5 \times 20 \\ &= 57 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}b' &= b - 0.5db \\ &= 67.8 - 0.5 \times 20 \\ &= 57.8 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\delta &= \left(\frac{w - \sum d_{\text{perlemahan}}}{w} \right) \\ &= \left(\frac{200 - 2 \times 22}{200} \right)\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
&= 0.78 \\
\beta &= \left(\frac{B}{T} - 1 \right) \left(\frac{a'}{b'} \right) \\
&= \left(\frac{29792.86}{29783.29} - 1 \right) \left(\frac{57}{57.8} \right) \\
&= 0.000317 \\
\beta &< 1, \text{ maka:} \\
\alpha &= \frac{1}{\delta} \left(\frac{\beta}{1 - \beta} \right) \leq 1 \\
&= \frac{1}{0.78} \left(\frac{0.00032}{1 - 0.00032} \right) \leq 1 \\
&= 0.000406 \\
Q &= T \left(\frac{\alpha \delta}{1 - \alpha \delta} \right) \left(\frac{a'}{b'} \right) \\
&= 29783.29 \left(\frac{0.000317}{1 - 0.000317} \right) \left(\frac{57}{57.8} \right) \\
&= 9.313
\end{aligned}$$

Gaya pada baut: $T + Q \leq B$

$$29783.29 + 9.313 \leq 29792.86$$

$$29792.60 \text{ kg} \leq 29792.86 \text{ kg}$$

$$\begin{aligned}
M_p \text{ sayap} &= \frac{Tb'}{1 + \alpha \delta} \\
&= \frac{29783.29 \times 57.8}{1 + 0.000317} \\
&= 1720928.40 \text{ kgmm} \\
&= 1720.93 \text{ kgm}
\end{aligned}$$

Tebal sayap profil T perlu:

$$\begin{aligned}
tf &= \sqrt{\frac{4Tb'}{\phi wfy(1 + \alpha \delta)}} \\
&= \sqrt{\frac{4 \times 29783.29 \times 57.8}{0.9 \times 20 \times 2900 \times (1 + 0.000317)}} \\
&= 11.484 \text{ mm}
\end{aligned}$$

- **Sambungan pada badan profil T- sayap balok**

Kuat Geser

$$\begin{aligned}
 R_n &= F_n \cdot A_b \\
 &= 620 \times 314.16 \\
 &= 194778.74 \text{ N} \\
 &= 19861.90 \text{ kg} \\
 \phi R_n &= 0.75 \times 19861.90 \\
 &= 14896.43 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

Kuat Tumpu

$$\begin{aligned}
 R_n &= 1.2 l_c t F_u \\
 &= 1.2 \times 26 \times 17 \times 500 \\
 &= 265200 \text{ N} \\
 &= 27042.16 \text{ kg} \\
 \phi R_n &= 0.75 \times 27042.87 \\
 &= 20282.16 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Jumlah baut (n)} &= \frac{2T}{\phi R_n} \\
 &= \frac{2 \times 29783.29}{20282.16} \\
 &= 2.937 \approx 3 \text{ buah}
 \end{aligned}$$

Badan T sebagai batang tarik:

$$\begin{aligned}
 \text{diameter perlemahan } d1 &= d + 2 \\
 &= 20 + 2 \\
 &= 22 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Kuat leleh

$$\begin{aligned}
 R_n &= F_y \cdot A_g \\
 &= 2900 \times 200 \times 14 \\
 &= 16080000 \text{ N} \\
 &= 1537732 \text{ kg} \\
 \phi P_n &= 0.9 \times 1537732 \\
 &= 1383959 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

Kuat tumpu

$$\begin{aligned}
 R_n &= F_u \cdot A_e \\
 &= 500 \times (200 \times 14 - 3 \times 22 \times 17)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= 224940 \text{ N} \\
 &= 22937.50 \text{ kg} \\
 \phi P_n &= 0.9 \times P_n \\
 &= 0.9 \times 22937.50 \\
 &= 20643.75 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

4.8.3 Sambungan Antar Kolom

Sambungan kolom yang direncanakan pada lantai 1 – 13 tipikal menggunakan sambungan baut, baut menggunakan tipe A325 (tanpa ulir pada bidang geser) dan pelat penyambung direncanakan tebal 15 mm BJ 50. Berdasarkan hasil analisis menggunakan SAP 2000 diperoleh gaya dalam sebagai berikut:

Kolom : KC 588×300×12×20

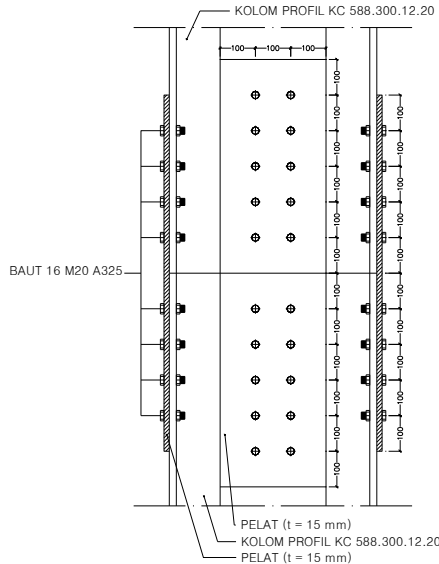
Pu : 658526.17 kg

Mux : 52954.62 kgm

Muy : 11117.79 kgm

Vux : 11426.75 kgm

Vuy : 26055.86 kg



Gambar 4. 37 Sambungan antar kolom

Pembagian beban aksial:

$$\begin{aligned}
 P_{u \text{ badan}} &= \frac{A_{\text{badan}}}{A_{\text{profil}}} \cdot P_u \\
 &= \frac{58.8 - (2 \times 2) + 58.8 - (2 \times 2) + 1.2}{385} \cdot 658526.17 \\
 &= \frac{108.4}{385} \cdot 658526.17 \\
 &= 185413.60 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 P_{u \text{ sayap}} &= P_u - P_{u \text{ badan}} \\
 &= 658526.17 - 185413.60 \\
 &= 473112.57 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

a. Sambungan arah x

Pembagian beban momen:

$$\begin{aligned}
 M_{u \text{ badan}} &= \frac{I_{\text{badan}}}{I_{\text{profil}}} \cdot M_{ux} \\
 &= \frac{\frac{1}{12} \times 1.2 \times (58.8 - 2 \times 2)^3}{127020} \cdot 52955 \\
 &= 16456.66 \text{ kgm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_{u \text{ sayap}} &= M_u - M_{u \text{ badan}} \\
 &= 52954.62 - 16456.66 \\
 &= 36497.69 \text{ kgm}
 \end{aligned}$$

- **Sambungan pada sayap kolom**

Kuat Geser

$$\begin{aligned}
 R_n &= F_n \cdot A_b \\
 &= 620 \times 314.16 \\
 &= 194778.74 \text{ N} \\
 &= 19861.90 \text{ kg} \\
 \phi R_n &= 0.75 \times 19861.90 \\
 &= 14896.43 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

Kuat Tumpu

$$\begin{aligned}
 R_n &= 1.2 l_c t F_u \\
 &= 1.2 \times 26 \times 20 \times 500 \\
 &= 312000 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$= 31815.15 \text{ kg}$$

$$\phi R_n = 0.75 \times 31815.15$$

$$= 23861.36 \text{ kg}$$

Gaya kopel pada sayap

$$T = \frac{M_{u \text{ sayap}}}{d}$$

$$= \frac{36497.69}{0.588}$$

$$= 62071.36 \text{ kg}$$

Total gaya pada sayap

$$P_{u \text{ total}} = T + \frac{P_{u \text{ sayap}}}{4}$$

$$= 62071.36 + \frac{473112.57}{4}$$

$$= 180349.50 \text{ kg}$$

$$\text{Jumlah baut (n)} = \frac{P_{u \text{ total}}}{\phi R_n}$$

$$= \frac{180349.50}{14896.43}$$

$$= 12.11 \approx 14 \text{ buah}$$

$$\text{Jarak tepi (S1)} = 30 \text{ mm}$$

$$\text{Jarak antar baut (S2)} = 3d$$

$$= 3 \times 20$$

$$= 60 \text{ mm}$$

- **Sambungan pada badan kolom**

Kuat Geser

$$R_n = F_n \cdot A_b$$

$$= 620 \times 314.16$$

$$= 194778.74 \text{ N}$$

$$= 19861.90 \text{ kg}$$

$$\phi R_n = 0.75 \times 19861.90$$

$$= 14896.43 \text{ kg}$$

Kuat Tumpu

$$R_n = 1.2 l_c t F_u$$

$$= 1.2 \times 26 \times 12 \times 500$$

$$\begin{aligned}
 &= 187200 \text{ N} \\
 &= 19089.09 \text{ kg} \\
 \phi R_n &= 0.75 \times 19089.09 \\
 &= 14316.82 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

Momen pada titik berat sambungan

$$\begin{aligned}
 M_u &= \left(\frac{M_u \text{ sayap} + V_{ux} \cdot e}{2} \right) \\
 &= \left(\frac{36497.96 + 11426.75 \times 0.2}{2} \right) \\
 &= 18565.64 \text{ kgm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Perkiraan jumlah baut (n)} &= \sqrt{\frac{6 \cdot M_u}{\mu \phi R_n}} \\
 &= \sqrt{\frac{6 \times 18565.64}{10 \times 0.7 \times 1.2 \times 14316.816}} \\
 &= 0.962 \approx 10 \text{ buah}
 \end{aligned}$$

Akibat P_u

$$\begin{aligned}
 K_{uv1} &= \frac{P_u \text{ badan}}{n} \\
 &= \frac{185413.60}{14} \\
 &= 13243.83 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

Akibat V_u

$$\begin{aligned}
 K_{uH1} &= \frac{V_{ux}}{n} \\
 &= \frac{11426.75}{14} \\
 &= 816.196 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

Akibat M_u

$$\begin{aligned}
 K_{uv2} &= \frac{M_u \text{ total} \cdot x}{\sum (x^2 + y^2)} \\
 &= \frac{19928.71 \times 5}{1200}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= 83.036 \text{ kg} \\
 K_{uH2} &= \frac{M_{u \text{ total. } y}}{\sum(x^2 + y^2)} \\
 &= \frac{19928.71 \times 15}{1200} \\
 &= 249.109 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

Sehingga:

$$\begin{aligned}
 K_{u \text{ total}} &= \sqrt{(\sum K_{uv})^2 + (\sum K_{uh})^2} \\
 &= \sqrt{(13243.83 + 83.036)^2 + (816.196 + 249.109)^2} \\
 &= 1.79 \times 10^8 \\
 &= 13369.38 \text{ kg} \leq 14316.82 \text{ kg} \quad (\text{Ok})
 \end{aligned}$$

b. Sambungan arah y

$$\begin{aligned}
 M_{u \text{ badan}} &= \frac{I_{\text{badan}}}{I_{\text{profil}}} \cdot M_{uy} \\
 &= \frac{\frac{1}{12} \times 1.2 \times (58.8 - 2 \times 2)^3}{127020} \cdot 11117.8 \\
 &= 1379.96 \text{ kgm} \\
 M_{u \text{ sayap}} &= M_u - M_{u \text{ badan}} \\
 &= 11117.79 - 1379.96 \\
 &= 9737.83 \text{ kgm}
 \end{aligned}$$

- **Sambungan pada sayap kolom**

Kuat Geser

$$\begin{aligned}
 R_n &= F_n \cdot A_b \\
 &= 620 \times 314.16 \\
 &= 194778.74 \text{ N} \\
 &= 19861.90 \text{ kg} \\
 \phi R_n &= 0.75 \times 19861.90 \\
 &= 14896.43 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

Kuat Tumpu

$$\begin{aligned}
 R_n &= 1.2 l_c t F_u \\
 &= 1.2 \times 26 \times 20 \times 500
 \end{aligned}$$

$$= 312000 \text{ N}$$

$$= 31815.15 \text{ kg}$$

$$\phi R_n = 0.75 \times 31815.15$$

$$= 23861.36 \text{ kg}$$

Gaya kopel pada sayap

$$T = \frac{M_u \text{ sayap}}{d}$$

$$= \frac{9737.83}{0.588}$$

$$= 16560.94 \text{ kg}$$

Total gaya pada sayap

$$P_{u \text{ total}} = T + \frac{P_u \text{ sayap}}{4}$$

$$= 16560.94 + \frac{473112.57}{4}$$

$$= 134839.08 \text{ kg}$$

$$\text{Jumlah baut (n)} = \frac{P_{u \text{ total}}}{\phi R_n}$$

$$= \frac{134839.08}{14896.43}$$

$$= 9.05 \approx 12 \text{ buah}$$

$$\text{Jarak tepi (S1)} = 30 \text{ mm}$$

$$\text{Jarak antar baut (S2)} = 3d$$

$$= 3 \times 20$$

$$= 60 \text{ mm}$$

- **Sambungan pada badan kolom**

Kuat Geser

$$R_n = F_n \cdot A_b$$

$$= 620 \times 314.16$$

$$= 194778.74 \text{ N}$$

$$= 19861.90 \text{ kg}$$

$$\phi R_n = 0.75 \times 19861.90$$

$$= 14896.43 \text{ kg}$$

Kuat Tumpu

$$R_n = 1.2 l_c t F_u$$

$$= 1.2 \times 26 \times 12 \times 500$$

$$= 187200 \text{ N}$$

$$= 19089.09 \text{ kg}$$

$$\phi R_n = 0.75 \times 19089.09$$

$$= 14316.82 \text{ kg}$$

Momen pada titik berat sambungan

$$M_u = \left(\frac{M_{u \text{ sayap}} + V_{ux} \cdot e}{2} \right)$$

$$= \left(\frac{9737.83 + 26055.86 \times 0.2}{2} \right)$$

$$= 7474.502 \text{ kgm}$$

$$\text{Perkiraan jumlah baut (n)} = \sqrt{\frac{6 \cdot M_u}{\mu \phi R_n}}$$

$$= \sqrt{\frac{6 \times 7474.502}{10 \times 0.7 \times 1.2 \times 14316.816}}$$

$$= 0.611 \approx 14 \text{ buah}$$

Akibat P_u

$$K_{uv1} = \frac{P_{u \text{ badan}}}{n}$$

$$= \frac{185413.60}{14}$$

$$= 13243.83 \text{ kg}$$

Akibat V_u

$$K_{uH1} = \frac{V_{ux}}{n}$$

$$= \frac{26055.86}{14}$$

$$= 1861.133 \text{ kg}$$

Akibat M_u

$$K_{uv2} = \frac{M_{u \text{ total}} \cdot x}{\sum (x^2 + y^2)}$$

$$\begin{aligned}
&= \frac{7474.502 \times 5}{1200} \\
&= 31.144 \text{ kg} \\
K_{uH2} &= \frac{M_{u \text{ total}.Y}}{\sum(x^2 + y^2)} \\
&= \frac{7474.502 \times 15}{1200} \\
&= 93.431 \text{ kg}
\end{aligned}$$

Sehingga:

$$\begin{aligned}
K_{u \text{ total}} &= \sqrt{(\sum K_{uv})^2 + (\sum K_{uh})^2} \\
&= \sqrt{(13243 + 31.144)^2 + (1861.133 + 93.431)^2} \\
&= 1.8 \times 10^8 \\
&= 13418.09 \text{ kg} \leq 114316.82 \text{ kg} \quad (\text{Ok})
\end{aligned}$$

4.8.4 Sambungan Kolom dengan Base Plate

Sambungan kolom dengan base plate direncanakan pada kolom lantai 1-13 tipikal, untuk gaya dalam untuk desain sambungan diperoleh dari analisis SAP 2000 dan diambil gaya dalam terbesar (frame 1761) sbb:

$$P_u = 658526.17 \text{ kg}$$

$$V_u = 26055.86 \text{ kg}$$

$$M_{ux} = 52954.62 \text{ kgm}$$

$$M_{uy} = 20276.24 \text{ kgm}$$

- **Sambungan Las pada End Plate**

Kontrol las pada daerah yang diarsir (yang akan dilas) pada profil KC 588×300×12×20 dengan asumsi $t_e = 1 \text{ cm}$, bahan las FE_{90xx} sehingga didapat:

$$A_{\text{las}} = (8 \times 24) + (8 \times 23.2) = 377.8 \text{ cm}^2$$

$$\begin{aligned}
I_x = I_y &= 4 \left(\frac{1}{12} \times 23.2 \times 1^3 + \frac{1}{12} \times 1 \times 24^3 + 1 \times 23.2 \times 12^2 \right) \\
&\quad + 4 \left(\frac{1}{12} \times 24 \times 1^3 + \frac{1}{12} \times 1 \times 23.2^3 + 1 \times 24 \times 0.5^2 \right) \\
&= 22173.323 \text{ cm}^4
\end{aligned}$$

$$I_x = I_y$$

$$W_x = \frac{I_x}{y} = \frac{22173.323}{12} = 1847.78 \text{ cm}^3$$

$$W_y = \frac{I_x}{x} = \frac{22173.323}{11.6} = 1910.83 \text{ cm}^3$$

$$\begin{aligned} f_{\text{total}} &= \frac{P_u}{A_{\text{las}}} + \frac{M_x}{W_x} + \frac{M_y}{W_y} \\ &= \frac{658526.17}{377.60} + \frac{52954.62}{1847.78} + \frac{20276.24}{1911.49} \\ &= 1743.98 + 28.66 + 10.61 \\ &= 1783.24 \text{ kg/cm}^2 \end{aligned}$$

Kuat rencana las $t_e = 1 \text{ cm}$

$$\begin{aligned} \phi R_n &= \phi F_{nw} \cdot A_{we} \\ &= 0.8 \times 0.6 \times 90 \times 47.2 \times 1 \\ &= 2039.04 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} t_c &= \frac{f_{\text{total}}}{\phi R_n} \\ &= \frac{1783.24}{2039.04} \\ &= 0.875 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} a_{\text{perlu}} &= \frac{t_c}{0.707} \\ &= \frac{0.875}{0.707} \\ &= 1.237 \text{ cm} \approx 1.3 \text{ cm} \end{aligned}$$

- **Perencanaan base plate**

Arah x

$$\begin{aligned} e &= \frac{M_u}{P_u} \\ &= \frac{52954.62}{658526.17} \\ &= 0.08 \text{ m} = 8.04 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$\frac{H}{6} = \frac{70}{6} = 11.67 \text{ cm}$$

$$e = \frac{M_u}{P_u} < \frac{H}{6}$$

$$8.04 \text{ cm} < 11.67 \text{ cm} \quad (\text{small eccentricity case})$$

maka tidak perlu angker, sehingga dipasang angker praktis.

$$H = d + 2h' \rightarrow h' \geq we + c1$$

$$we = 2 \times \frac{2}{3} \times d = 1.333 \times 30 = 4 \text{ cm}$$

$$c1 = we = 4 \text{ cm}$$

$$h' = we + c1$$

$$= 4 + 4$$

$$= 8 \text{ cm}$$

$$H = d + 2h'$$

$$= 30 + 2 \times 8$$

$$= 67 \text{ cm} \approx 70 \text{ cm}$$

$$h = H - we$$

$$= 70 - 4$$

$$= 66 \text{ cm}$$

$$B = H = 70 \text{ cm}$$

Dimensi kolom beton: 800×800 mm

$$f'_c = 30 \text{ MPa}$$

$$A_2 = 80 \times 80 = 6400 \text{ cm}^2$$

$$A_1 = 70 \times 70 = 4900 \text{ cm}^2$$

bila $A_2 \geq A_1$; makategangan beton f'_c bisa dinaikkan sbb:

$$\frac{A_2}{A_1} \leq 4$$

$$\frac{6400}{4900} \leq 4$$

$$1.306 \leq 4 \rightarrow f'_c' = f'_c \sqrt{\frac{A_2}{A_1}}$$

$$f'_c' = 30 \sqrt{1.306}$$

$$f'_c' = 34.286 \approx 35 \text{ MPa}$$

$$f'_{cu} = 0.85 f'_c \sqrt{\frac{A_2}{A_1}}$$

$$= 0.85 \times 35 \times \sqrt{1.306}$$

$$\begin{aligned}
 &= 34 \text{ MPa} \\
 t &\geq \sqrt{\frac{1.33f'_{cu} B}{f_y B}} \\
 &\geq \sqrt{\frac{1.33 \times 340 \times 70}{2400 \times 70}} \\
 &\geq 3.4725 \text{ cm} \approx 3.5 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

$$3.5 \text{ cm} \geq 3.4725 \text{ cm}$$

Sehingga dipakai tebal base plate = 3.5 cm

Arah y

$$\begin{aligned}
 e &= \frac{M_u}{P_u} \\
 &= \frac{20276.24}{658526.17} \\
 &= 0.03 \text{ m} = 3.08 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

$$\frac{H}{6} = \frac{70}{6} = 11.67 \text{ cm}$$

$$e = \frac{M_u}{P_u} < \frac{H}{6}$$

$$3.08 \text{ cm} < 11.67 \text{ cm} \quad (\text{small eccentricity case})$$

maka tidak perlu angker, sehingga dipasang angker praktis.

• **Perencanaan baut angkur**

Direncanakan diameter baut 30 mm, $A_b = \frac{1}{4}\pi d^2 = 706.86 \text{ mm}^2$

Kuat tarik

$$\begin{aligned}
 R_n &= F_n \cdot A_b \\
 &= 620 \times 706.86 \\
 &= 438252.18 \text{ N} \\
 &= 44689.28 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \phi R_n &= 0.75 \times 44689.28 \\
 &= 33516.964 \text{ kg} \quad (\text{menentukan})
 \end{aligned}$$

$$n \geq \frac{V_u}{\phi R_n}$$

$$n \geq \frac{26055.86}{33516.964}$$

$n \geq 0.777$, dipasang 4 buah

Kontrol jarak baut

$$\begin{aligned} \text{Jarak tepi (S1)} &= 2 \frac{2}{3} \times d \\ &= 2 \frac{2}{3} \times 30 \\ &= 40 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Jarak tepi (S2)} &= 2 \frac{2}{3} \times d \\ &= 2 \frac{2}{3} \times 30 \\ &= 40 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Jarak tepi (S)} &= 3 \times d \\ &= 3 \times 30 \\ &= 90 \text{ mm} \end{aligned}$$

- **Perencanaan panjang angkur**

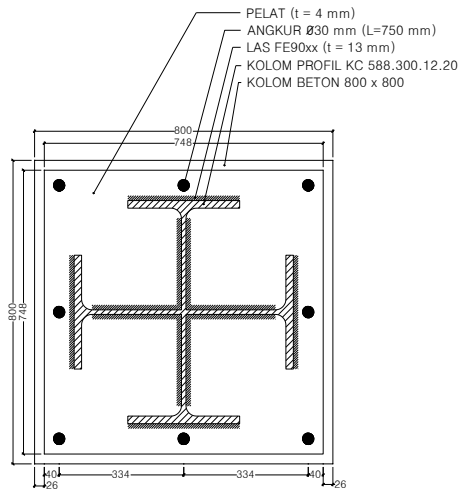
Panjang sambungan lewatan tekan harus sebesar:

$$Ldb = 0.071 f_y d_b \quad (\text{SNI 2847:2013 Pasal 12.16.1})$$

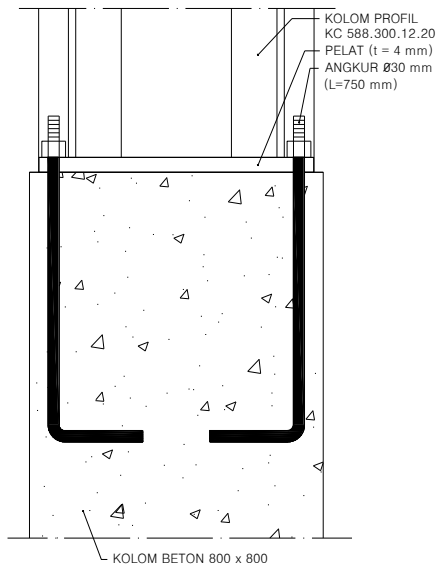
$$= 0.071 \times 410 \times 30$$

$$= 873.3 \text{ mm}$$

$$= 87.33 \text{ cm} \approx 88 \text{ cm}$$



Gambar 4. 38 Sambungan kolom dengan base plate



Gambar 4. 39 Potongan melintang sambungan kolom dengan base plate

4.9 Perencanaan Struktur Bawah

4.9.1 Umum

Pondasi adalah suatu konstruksi bagian dasar atau konstruksi yang berfungsi menopang bangunan yang ada di atasnya dan bertugas untuk menyalurkan beban yang terjadi pada struktur ke lapisan tanah.

Secara umum terdapat dua macam pondasi yaitu Pondasi Dangkal (*Shallow Foundation*) dan Pondasi dalam (*Deep Foundation*). Yang termasuk pondasi dangkal ialah pondasi memanjang, pondasi tapak, pondasi raft dan pondasi rollag bata. Sedangkan yang termasuk dalam pondasi dalam ialah pondasi tiang pancang (*pile*), pondasi dinding diafragma, pondasi cerucuk, dan pondasi caissons.

4.9.2 Data Tanah

Pennyelidikan tanah perlu dilakukan untuk mengetahui jenis dan karakteristik tanah ditempat akan dibangunnya gedung. Dengan adanya pennyelidikan tanah maka dapat diketahui dan direncanakannya kekuatan tanah dalam menahan beban yang akan disalurkan atau yang lebih dikenal dengan daya dukung tanahterhadap beban pondasi.

Data tanah yang digunakan dalam laporan tugas akhir ini merupakan data tanah yang digunakan untuk perencanaan pondasi gedung Apartemen Pavilion Permata Surabaya adalah data tanah Proyek Pembangunan Perumahan Sambikerep, Surabaya.

4.9.3 Perencanaan Pondasi

Rencana pondasi yang berlaku sebagai komponen struktur pendukung bangunan yang berada di bawah dan berfungsi sebagai elemen yang meneruskan beban ke tanah.

Pondasi pada gedung apartemen ini direncanakan memakai pondasi tiang pancang beton (*Concrete Pile*) dengan penampang bulat berongga (*Round Hollow*) dari produk PT. WIKA Beton. Spesifikasi tiang pancang yang akan digunakan adalah sebagai berikut:

- Diameter tiang : 450 mm

- Tebal tiang : 80 mm
- Klasifikasi : A3
- Concrete cross section : 930 cm²
- Berat : 232 kg/m
- Bending moment crack : 10 ton.m
- Bending moment ultimate : 15 ton.m
- Allowable axial load : 143.80 ton

4.9.4 Daya Dukung Tanah

4.9.4.1 Daya Dukung Tanah Tiang Tunggal

Daya dukung pada pondasi tiang pancang ditentukan oleh dua hal, yaitu daya dukung perlawanan tanah dari unsur dasar tiang pondasi (Q_p) dan daya dukung tanah dari unsur lekatan lateral tanah (Q_s). Sehingga daya dukung total dari tanah dapat dirumuskan:

$$Q_u = Q_p + Q_s$$

Disamping peninjauan berdasarkan kekuatan tanah tempat pondasi tiang pancang ditanam, daya dukung satu tiang juga harus ditinjau berdasarkan kekuatan bahan tiang pancang tersebut. Hasil daya dukung yang menentukan yang dipakai sebagai daya dukung tiang ijin. Perhitungan daya dukung dapat ditinjau dari dua keadaan, yaitu:

1. Daya dukung tiang pancang tunggal yang berdiri sendiri
2. Daya dukung tiang pancang dalam kelompok

Perhitungan daya dukung tiang pancang ini dilakukan berdasarkan hasil uji *Standart Penetration Test* (SPT) dengan kedalaman 30 m.

- $Q_u = Q_p + Q_s$
- $Q_p = q_p \cdot A_p$
 $= (N_p \cdot K) \cdot A_p$
 $= (540 \times 12) \times 0.16$
 $= 85.88 \text{ ton}$

Dimana:

N_p = Harga rata-rata SPT di sekitar 4D di atas hingga 4D di bawah dasar tiang pondasi

$$= \left(\frac{39 + 42 + 0}{4 \times 0.45} \times 12 \right) = 540$$

K = Koefisien karakteristik tanah
 = 12 t/m², untuk tanah lempung
 = 20 t/m², untuk tanah lanau berlempung
 = 25 t/m², untuk tanah lanau berpasir
 = 40 t/m², untuk tanah pasir
 = 40 t/m², untuk lempung sangat kaku (Poulos, H.G)

A_p = Luas penampang tiang
 $= \frac{1}{4} \times \pi \times 0.45^2 = 0.16 \text{ m}^2$

Q_p = tegangan di ujung tiang

- $Q_s = q_s \cdot A_s$
 $= \left(\frac{N_s}{3} + 1 \right) \times A_s$
 $= \left(\frac{240}{3} + 1 \right) \times 42.41$
 $= 350.86 \text{ t}$

Dimana:

q_s = tegangan akibat tekanan lateral t/m²
 N_s = harga rata-rata tiang yang tertanam, dengan batasan:
 $3 \leq N \leq 50$
 $N_s = \frac{240}{11} = 21.82 \text{ t/m}^2$
 A_s = Keliling × panjang tiang yang terbenam
 $= \pi \times 0.45 \times 30$
 $= 42.412 \text{ m}^2$

Daya dukung ijin tiang pancang yang berdiri sendiri adalah daya dukung tiang total dibagi dengan suatu angka keamanan.

$$P_{\text{ijin 1 tiang}} = \frac{Q_u}{SF} = \frac{350 + 85.88}{3} = 145.58 \text{ t}$$

Dimana:

SF = safety factor = 3

N' = harga SPT di lapangan

N = harga SPT setelah dikoreksi = $15 + [(N' - 15)/2]$

4.9.4.2 Daya Dukung Tanah Tiang Pancang Kelompok

Perhitungan daya dukung tiang pancang kelompok untuk daya dukung pondasi kelompok harus dikoreksi terlebih dahulu dengan koefisien efisiensi (η) menurut Converse Labarre , sehingga berlaku persamaan:

$$Q_{L(\text{group})} = Q_{L(1 \text{ tiang})} \times n \times \eta$$

n = jumlah tiang dalam group

Perhitungan koefisien C_e :

$$\eta = 1 - \frac{\arctan(D/S)}{90^\circ} \times \left(2 - \frac{1}{m} - \frac{1}{n} \right)$$

Dimana:

- D = diameter tiang pancang
- s = jarak antar tiang pancang
- m = jumlah tiang pancang dalam satu baris
- n = jumlah baris tiang pancang
- θ = Arc tg D/s (dalam derajat)

4.9.4.3 Beban Maksimum Diatas Tiang Kelompok

Bila di atas tiang-tiang dalam kelompok yang disatukan oleh sebuah kepala tiang (*poer*) bekerja beban-beban vertikal (V), horizontal (H) dan momen (M), maka besarnya beban vertikal ekuivalen (P_v) yang bekerja adalah:

$$P_{\max} = \frac{P}{n} \pm \frac{M_y \cdot x_{\max}}{\sum x^2} \pm \frac{M_x \cdot y_{\max}}{\sum y^2} \leq \eta \times Q_{ijin}$$

Dimana:

- P = beban vertikal ekuivalen
- V = beban vertikal dari kolom
- N = banyaknya tiang dalam group
- M_x = momen terhadap sumbu x
- M_y = momen terhadap sumbu y
- x_{\max} = absis terjauh terhadap titik berat kelompok tiang
- y_{\max} = ordinat terjauh terhadap titik berat kelompok tiang
- $\sum x^2$ = jumlah dari kuadrat absis tiap tiang terhadap garis netral group
- $\sum y^2$ = jumlah dari kuadrat ordinat tiap tiang terhadap garis netral group

4.9.5 Perhitungan Pondasi Kolom

4.9.5.1 Daya Dukung Satu Tiang Pancang

Untuk daya dukung ini diambil nilai terkecil antara daya dukung bahan dan daya dukung tanah.

- Daya dukung bahan:

Dari spesifikasi bahan tiang pancang (tabel spesifikasi WIKA), didapat:

$$P_{ijin} (1 \text{ tiang pancang}) = 143.80 \text{ t}$$

- Daya dukung tanah:

$$P_{ijin} (1 \text{ tiang pancang}) = 145.48 \text{ t}$$

Maka daya dukung satu tiang pondasi adalah 145.48 t.

Jarak antar tiang:

$$2.5D \leq S \leq 3D$$

$$2.5 \times 45 \leq S \leq 3 \times 45$$

$$112.5 \leq S \leq 135$$

Digunakan jarak antar tiang $S = 135 \text{ cm}$

Jarak tepi tiang pancang:

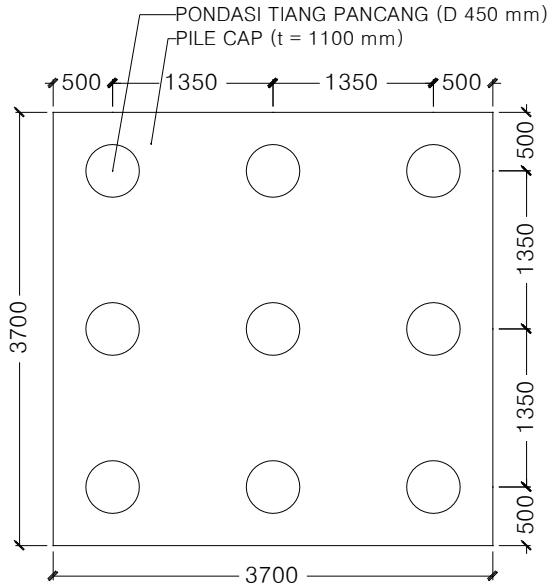
$$1D \leq S \leq 2D$$

$$1 \times 45 \leq S \leq 2 \times 45$$

$$45 \leq S \leq 90$$

Digunakan jarak tepi tiang $S = 90 \text{ cm}$

Direncanakan pondasi tiang dengan 6 tiang pancang. Jarak dari as ke as adalah 135 cm dan jarak as ke tepi tiang adalah 90 cm dengan konfigurasi sebagai berikut:



Gambar 4. 40 Pondasi Tiang Pancang

$$\eta = 1 - \frac{\arctan(D/S)}{90^\circ} \times \left(2 - \frac{1}{m} - \frac{1}{n}\right)$$

$$\eta = 1 - \frac{\arctan(450/1350)}{90^\circ} \times \left(2 - \frac{1}{3} - \frac{1}{3}\right)$$

$$\eta = 1 - 0.2048 \times 1.333$$

$$\eta = 0.7269$$

$$\begin{aligned} Q_{L(\text{group})} &= Q_{L(1 \text{ tiang})} \times n \times \eta \\ &= 145.58 \times 9 \times 0.7269 \\ &= 952.387 \text{ t} \end{aligned}$$

4.9.5.2 Daya Dukung Tiang Pancang Kelompok

4.9.5.2.1 Perhitungan Beban Datas Tiang Kelompok

Dari analisis SAP 2000 pada joint diperoleh :

	1D+1L	1D+1L+1Ex	1D+1L+1Ey
P	604126.17	567370.65	753148.58
Mx	-1802.53	-10914.60	-38583.87

My	-417.20	-32789.10	-12417.96
Hx	-261.48	-18858.63	-7162.53
Hy	-1860.38	-6632.65	-21078.52

$$P_{\max} = \frac{P}{n} \pm \frac{M_y \cdot x_{\max}}{\sum x^2} \pm \frac{M_x \cdot y_{\max}}{\sum y^2} \leq \eta \times Q_{ijin}$$

$$\sum x^2 = 6 \times (1)^2 = 6 \text{ m}^2$$

$$\sum y^2 = 6 \times (1)^2 = 6 \text{ m}^2$$

Beban tetap:

$$P_{D+L} = \frac{604.126}{9} \pm \frac{0.417 \times 1.85}{6} \pm \frac{1.80 \times 1.85}{6}$$

$$= 67.808 \text{ t (menentukan)}$$

Beban sementara:

$$P_{D+L+EX} = \frac{567.371}{9} \pm \frac{32.789 \times 1.85}{6} \pm \frac{10.91 \times 1.85}{6}$$

$$= 76.515 \text{ t}$$

Beban sementara:

$$P_{D+L+EY} = \frac{753.149}{9} \pm \frac{12.418 \times 1.85}{6} \pm \frac{38.58 \times 1.85}{6}$$

$$= 99.407 \text{ t (menentukan)}$$

Kontrol Beban Tetap:

$$P_{\max} = 67.808 \text{ ton} \leq 0.72689 \times 145.58 \text{ ton}$$

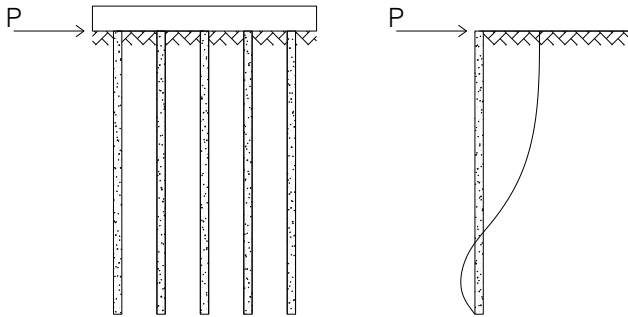
$$P_{\max} = 67.808 \text{ ton} \leq 105.821 \text{ ton} \quad \textbf{(Ok)}$$

Kontrol Beban Sementara:

$$P_{\max} = 99.407 \text{ ton} \leq 0.72689 \times 145.58 \text{ ton}$$

$$P_{\max} = 99.407 \text{ ton} \leq 105.821 \text{ ton} \quad \textbf{(Ok)}$$

Kontrol Kekuatan Tiang Terhadap Gaya Lateral:



Gambar 4. 41 Diagram Gaya Lateral Tiang

Gaya lateral yang bekerja pada tiang dapat menyebabkan terjadinya defleksi dan momen. Oleh karena itu harus dilakukan kontrol terhadap defleksi yang terjadi pada tiang. Kontrol defleksi tiang :

$$\delta = Fd \left(\frac{PT^3}{EI} \right) \leq 2.5 \text{ cm}$$

Dimana:

δ = defleksi yang terjadi

Fd = koefisien defleksi

P = gaya lateral 1 tiang

T = faktor kekakuan relatif

Jumlah tiang = 9 buah

$H_{\max} = 21.078 \text{ ton}$

$H_{\max} \text{ 1 tiang} = 2.342 \text{ ton}$

f (soil modulus of elasticity coefficient)

Didapatkan dari grafik *Immediate Settlement of Isolate Footing* (Lampiran)

$$C_u = 40 \text{ kN/m}^2 \\ = 0.408 \text{ kg/cm}^2$$

$$Q_u = 2 \times \frac{0.408}{0.977} \\ = 0.835 \text{ t/ft}^3$$

Maka didapatkan $f = 0.7 \text{ t/ft}^3 = 0.0224 \text{ kg/cm}^3$

$$T = \left(\frac{EI}{f} \right)^{\frac{1}{5}}$$

$$\begin{aligned} E &= 4700 \sqrt{f'c} \\ &= 4700 \sqrt{52} \\ &= 33892.182 \text{ MPa} \\ &= 345605.358 \text{ kg/cm}^2 \end{aligned}$$

$$I = 166570.380 \text{ cm}^4$$

$$\begin{aligned} T &= \left(\frac{345605.358 \times 166570.380}{0.0224} \right)^{\frac{1}{5}} \\ &= 303.379 \text{ cm} \end{aligned}$$

F_d (*deflection coefficient*)

Didapatkan dari grafik *Influence Value for Laterally Loaded Pile* (Lampiran)

$$L = 30 \text{ m} = 3000 \text{ cm (kedalaman tiang pancang)}$$

$$T = 303.379 \text{ cm}$$

$$\frac{L}{T} = 9.889$$

Maka didapat $F_d = 0.08$

$$\begin{aligned} \delta &= F_d \left(\frac{PT^3}{EI} \right) \leq 2.5 \text{ cm} \\ &= 0.08 \times \left(\frac{2.342 \times 303.379^3}{345605.358 \times 166570.380} \right) \leq 2.5 \text{ cm} \\ &= 0.00009088 \text{ cm} \leq 2.5 \text{ cm} \quad (\mathbf{Ok}) \end{aligned}$$

Kontrol Momen:

$$M_{\text{crack}} = 10 \text{ tm}$$

(dari tabel spesifikasi tiang pancang produk PT. WIKA Beton)

F_m (koefisien momen akibat gaya lateral P)

Didapatkan dari grafik *Influence Value for Laterally Loaded Pile*

$$\frac{L}{T} = 9.889$$

Maka didapat $F_m = 0.02$

$$M = F_m(PT)$$

$$= 0.02 \times (2.342 \times 303.379)$$

$$= 0.142 \text{ tm} \leq 10 \text{ tm} \quad (\text{Ok})$$

4.10 Perencanaan Poer (*Pile Cap*)

Poer direncanakan untuk meneruskan gaya dari struktur atas ke pondasi tiang pancang. Oleh karena itu, poer harus memiliki kekuatan yang cukup terhadap geser pons dan lentur. Berikut merupakan data perencanaan poer:

$$P_u = 604126.17 \text{ kg}$$

$$P_1 \text{ tiang} = 145.58 \text{ ton} = 148580 \text{ kg}$$

$$\sum \text{tiang pancang tiap group} = 6$$

$$\text{Dimensi kolom} = 800 \times 800 \text{ mm}^2$$

$$\text{Dimensi pile cap} = 2600 \times 3600 \times 1000 \text{ m}^2$$

$$\text{Mutu beton (f'c)} = 30 \text{ MPa}$$

$$\text{Mutu baja (fy)} = 410 \text{ MPa}$$

$$\text{Diameter tulangan (D)} = 25 \text{ mm}$$

$$\text{Selimut beton} = 50 \text{ mm}$$

$$\text{Tinggi poer} = 1100 \text{ mm}$$

$$\text{Tinggi efektif (d)}$$

$$d = 1100 - 50 - 1/2 \times 25 = 1037.5 \text{ mm}$$

4.10.1 Kontrol Geser Pons Pada Poer

Dalam merencanakan poer harus dipenuhi persyaratan kekuatan gaya geser nominal beton yang harus lebih besar dari geser pons yang terjadi. Hal ini sesuai yang disyaratkan pada SNI 2847:2013 Pasal 11.2.1.1.

a. Geser satu arah

Kuat geser yang disumbangkan beton dirumuskan:

$$\phi V_c = \phi 0.17 \sqrt{f'c} b_w d$$

$$b_w = 2(b_k + d) + 2(h_k + d)$$

$$= 2(800 + 1037.5) + 2(800 + 1037.5)$$

$$= 7350 \text{ mm}$$

$$\phi V_c = 0.85 \times 0.17 \sqrt{30} \times 7350 \times 1037.5$$

$$= 6035370.27 \text{ N}$$

$$= 615436.489 \text{ kg}$$

$$P_u \leq \phi V_c$$

$$604126.17 \text{ kg} \leq 615436.49 \text{ kg} \quad (\text{Ok})$$

b. Geser dua arah

$\beta = \frac{800}{800} = 1$, rasio terhadap sisi panjang dan sisi pendek kolom.

$\alpha_s = 40$, untuk kolom interior

$$\begin{aligned} b_o &= \text{keliling penampang kritis} \\ &= 2(800 + 1037.5) + 2(800 + 1037.5) \\ &= 7350 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$V_{c1} = 0.17 \left(1 + \frac{2}{\beta} \right) \lambda \sqrt{f'_c} b_o d \quad (\text{SNI 2847:2013 Pasal 11.11.2.1})$$

$$\begin{aligned} &= 0.17 \left(1 + \frac{2}{1} \right) \times 1 \times \sqrt{30} \times 7350 \times 1037.5 \\ &= 21301306.82 \text{ N} \\ &= 2172128.79 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$V_{c2} = 0.083 \left(\frac{\alpha_s d}{b_o} + 2 \right) \lambda \sqrt{f'_c} b_o d \quad (\text{SNI 2847:2013 Pasal 11.11.2.1})$$

$$\begin{aligned} &= 0.083 \times \left(\frac{40 \times 1037.5}{7350} + 2 \right) \times 1 \times \sqrt{30} \times 7350 \times 1037.5 \\ &= 26507156.41 \text{ N} \\ &= 2702977.71 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$V_{c3} = 0.33 \lambda \sqrt{f'_c} b_o d \quad (\text{SNI 2847:2013 Pasal 11.11.2.1})$$

$$\begin{aligned} &= 0.33 \times 1 \times \sqrt{30} \times 7350 \times 1037.5 \\ &= 13783198.53 \text{ N} \\ &= 1405495.097 \text{ kg (menentukan)} \end{aligned}$$

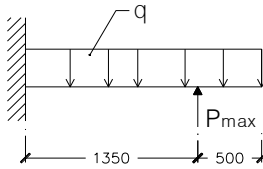
$$P_u \leq \phi V_c$$

$$604126.17 \text{ kg} \leq 0.85 \times 1405495.097 \text{ kg}$$

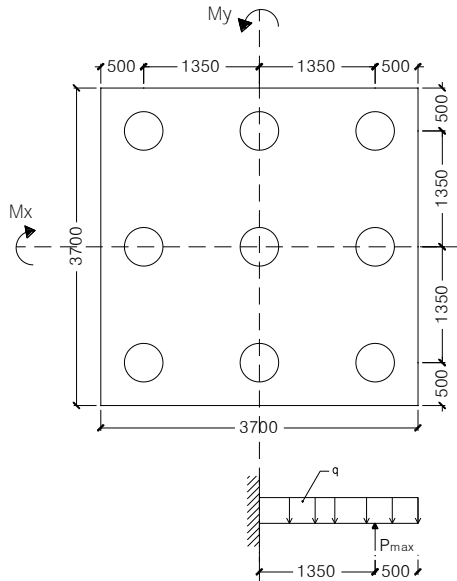
$$604126.17 \text{ kg} \leq 615436.49 \text{ kg} \quad (\text{Ok})$$

4.10.2 Penulangan Poer (*Pile Cap*)

Untuk penulangan lentur, poer dianalisa sebagai balok kantilever dengan perletakan jepit pada kolom. Sedangkan beban yang bekerja adalah beban terpusat di tiang kolom yang menyebabkan reaksi pada tanah dan berat sendiri pada poer.



Gambar 4. 42 Analisa Poer sebagai Balok Kantilever



Gambar 4. 43 Pembebanan Poer Kolom K1

a. Penulangan Arah - xPenulangan Lentur

$$P_u = 1.4 \times 604126.17$$

$$= 845776.638 \text{ kg}$$

$$= 845.776 \text{ ton}$$

$$q_u = 2.4 \times 1.4 \times 3.7 \times 1.1$$

$$= 13.675 \text{ t/m}$$

$$M_u = 3 \times 845.776 \times 0.135 - 0.5 \times 13.675 \times 3.4225$$

$$= 342.539 - 23.402$$

$$= 319.138 \text{ tm} = 3129673220.07 \text{ Nmm}$$

$$\beta_1 = 0.85 - \left(\frac{30 - 28}{7} \right) \times 0.05$$

$$= 0.836$$

$$\rho_b = \frac{0.85\beta_1 f'_c}{f_y} \left(\frac{600}{600 + f_y} \right)$$

(SNI 2847:2013 Lampiran B)

$$= \frac{0.85 \times 0.836 \times 30}{410} \left(\frac{600}{600 + 410} \right)$$

$$= 0.031$$

$$\rho_{\max} = 0.5 \times 0.031$$

$$= 0.015$$

(SNI 2847:2013 Lampiran B)

$$\rho_{\min} = \frac{1.4}{f_y}$$

$$= \frac{1.4}{410}$$

$$= 0.0034$$

$$m = \frac{f_y}{0.85 f'_c}$$

$$= \frac{410}{0.85 \times 30}$$

$$= 16.078$$

$$R_n = \frac{M_u}{\phi b d^2}$$

$$= \frac{3129673220.07}{0.85 \times 3700 \times 1076406}$$

$$= 0.69126$$

$$\rho_{\text{perlu}} = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2mR_n}{f_y}} \right)$$

$$= \frac{1}{16.078} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 16.078 \times 0.92}{410}} \right)$$

$$= 0.0023$$

$$\rho_{\text{perlu}} = 0.0023 < \rho_{\text{min}} = 0.0034$$

Karena $\rho_{\text{perlu}} < \rho_{\text{min}}$, maka dipakai $\rho_{\text{min}} = 0.0034$

Tulangan tarik yang dibutuhkan

$$\begin{aligned} A_{s_{\text{perlu}}} &= \rho b d \\ &= 0.0034 \times 3600 \times 1037.5 \\ &= 12753.659 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Jumlah tulangan (n)} &= \frac{A_{s_{\text{perlu}}}}{A_{s_{\text{tulangan}}}} \\ &= \frac{12753.659}{\frac{0.25 \times \pi \times 25^2}{4}} \\ &= \frac{490.874}{25.982} \approx 26 \text{ buah} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Jarak tulangan} &= \frac{3600 - (2 \times 800)}{26 - 1} \\ &= \frac{2000}{25} \\ &= 80 \text{ mm} \end{aligned}$$

Digunakan tulangan tarik D25 – 80 mm

$$(A_s = 12762.720 \text{ mm}^2)$$

Tulangan tekan yang dibutuhkan

$$\begin{aligned} A_{s'} &= 0.5 A_{s_{\text{perlu}}} \\ &= 0.5 \times 12753.659 \\ &= 6376.829 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Jumlah tulangan (n)} &= \frac{A_{s'}}{A_{s_{\text{tulangan}}}} \\ &= \frac{6376.829}{\frac{0.25 \times \pi \times 25^2}{4}} \\ &= \frac{490.874}{12.991} \approx 13 \text{ buah} \end{aligned}$$

$$\text{Jarak tulangan} = \frac{3600 - (2 \times 800)}{13 - 1}$$

$$= \frac{2000}{12}$$

$$= 167 \text{ mm}$$

Digunakan tulangan tarik D25-160 mm

$$(A_s = 6381.360 \text{ mm}^2)$$

b. Penulangan Arah – y

Penulangan Lentur

$$P_u = 1.4 \times 604126.17$$

$$= 845776.638 \text{ kg}$$

$$= 845.776 \text{ ton}$$

$$q_u = 2.4 \times 1.4 \times 3.7 \times 1.1$$

$$= 13.675 \text{ t/m}$$

$$M_u = 3 \times 845.776 \times 0.0675 - 0.5 \times 13.675 \times 3.4225$$

$$= 171.270 - 23.402$$

$$= 171.27 \text{ tm} = 1450090538.03 \text{ Nmm}$$

$$\beta_1 = 0.85 - \left(\frac{30 - 28}{7} \right) \times 0.05$$

$$= 0.836$$

$$\rho_b = \frac{0.85\beta_1 f'_c \left(\frac{600}{600 + f_y} \right)}{f_y}$$

(SNI 2847:2013 Lampiran B)

$$= \frac{0.85 \times 0.836 \times 30}{410} \left(\frac{600}{600 + 410} \right)$$

$$= 0.031$$

$$\rho_{\max} = 0.5 \times 0.031$$

$$= 0.015$$

(SNI 2847:2013 Lampiran B)

$$\rho_{\min} = \frac{1.4}{f_y}$$

$$= \frac{1.4}{410}$$

$$= 0.0034$$

$$= 0.0034$$

$$m = \frac{f_y}{0.85 f'_c}$$

$$\begin{aligned}
&= \frac{410}{0.85 \times 30} \\
&= 16.078 \\
R_n &= \frac{M_u}{\phi b d^2} \\
&= \frac{1164504223.69}{0.85 \times 3600 \times 1076406} \\
&= 0.3535 \\
\rho_{\text{perlu}} &= \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2mR_n}{f_y}} \right) \\
&= \frac{1}{16.078} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 16.078 \times 0.43}{410}} \right) \\
&= 0.00105 \\
\rho_{\text{perlu}} &= 0.00105 < \rho_{\text{min}} = 0.0034 \\
\text{Karena } \rho_{\text{perlu}} &< \rho_{\text{min}}, \text{ maka dipakai } \rho_{\text{min}} = 0.0034
\end{aligned}$$

Tulangan tarik yang dibutuhkan

$$\begin{aligned}
A_{s_{\text{perlu}}} &= \rho b d \\
&= 0.0034 \times 2600 \times 1037.5 \\
&= 9210.976 \text{ mm}^2 \\
\text{Jumlah tulangan (n)} &= \frac{A_{s_{\text{perlu}}}}{A_{s_{\text{tulangan}}}} \\
&= \frac{9210.976}{\frac{0.25 \times \pi \times 25^2}{4}} \\
&= \frac{490.874}{18.764} \approx 19 \text{ buah} \\
\text{Jarak tulangan} &= \frac{2600 - (2 \times 800)}{19 - 1} \\
&= \frac{1000}{18} \\
&= 56 \text{ mm}
\end{aligned}$$

Digunakan tulangan tarik D25-55 mm

$$(A_s = 9326.603 \text{ mm}^2)$$

Tulangan tekan yang dibutuhkan

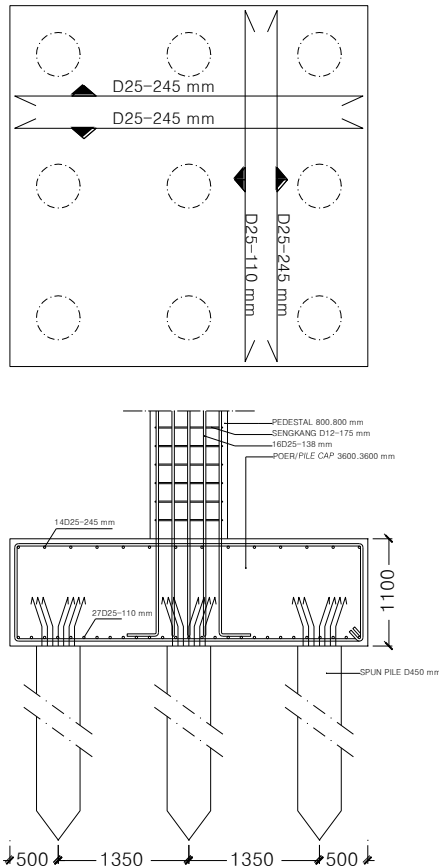
$$\begin{aligned} A_s' &= 0.5 A_{s_{\text{perlu}}} \\ &= 0.5 \times 9210.976 \\ &= 4605.488 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Jumlah tulangan (n)} &= \frac{A_s'}{A_{s_{\text{tulangan}}}} \\ &= \frac{4605.488}{\frac{0.25 \times \pi \times 25^2}{4}} \\ &= \frac{4605.488}{490.874} \\ &= 9.382 \approx 10 \text{ buah} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Jarak tulangan} &= \frac{3600 - (2 \times 800)}{10 - 1} \\ &= \frac{1000}{9} \\ &= 111 \text{ mm} \end{aligned}$$

Digunakan tulangan tarik D25-110 mm

$$(A_s = 4908.739 \text{ mm}^2)$$



Gambar 4. 44 Detail Penulangan Poer (*Pile Cap*)

4.11 Perencanaan Sloof (*Tie Beam*)

Struktur sloof dalam hal ini digunakan dengan tujuan agar terjadi penurunan pondasi secara bersamaan atau dengan kata lain sloof mempunyai fungsi sebagai pengaku yang menghubungkan antara pondasi yang satu dengan pondasi lainnya. Adapun beban-beban yang pada sloof meliputi berat sendiri sloof, berat dinding basement paling bawah, beban aksial tekan atau tarik yang berasal dari 10% beban aksial kolom (output program SAP 2000).

Data-data perencanaan sloof :

$$\begin{aligned}
 P_u &= 604126.17 \text{ kg} \\
 &= 6041261.7 \text{ N} \\
 \text{Dimensi sloof} &= 500 \times 700 \text{ mm}^2 \\
 \text{Mutu beton (f'c)} &= 30 \text{ MPa} \\
 \text{Mutu baja (fy)} &= 410 \text{ MPa} \\
 \text{Tulangan utama} &= 22 \text{ mm} \\
 \text{Tulangan sengkang} &= 12 \text{ mm} \\
 \text{Selimut beton} &= 50 \text{ mm} \\
 \text{Tinggi efektif} &= h - \text{decking} - \phi - 1/2D \\
 &= 700 - 50 - 12 - 1/2 \times 22 \\
 &= 627 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Tegangan ijin tarik beton } f_{r \text{ ijin}} &= 0.7 \sqrt{f'c} \\
 &= 0.7 \sqrt{30} \\
 &= 3.834 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 P_u &= 10\% P_{u \text{ kolom}} \\
 &= 10\% \times 6041261.7 \\
 &= 604126.17 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Tegangan tarik yang terjadi } f_r &= \frac{P_u}{\phi b h} \\
 &= \frac{604126.17}{0.85 \times 500 \times 700} \\
 &= 2.031 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

Penulangan lentur

Beban yang terjadi pada sloof:

Beban aksial:

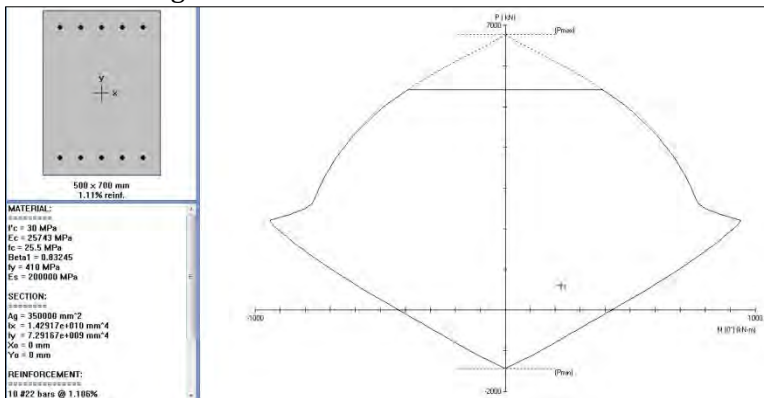
$$P_u = 604126.17 \text{ N} = 604.126 \text{ KN}$$

Beban merata:

$$\begin{aligned}
 \text{Sloof} &= 0.5 \times 0.7 \times 2400 &= 840 \text{ kg/m} \\
 \text{Dinding} &= 3 \times 0.4 \times 2400 &= \underline{2880 \text{ kg/m}} \\
 &&= 3720 \text{ kg/m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 q_u &= 1.4 q \\
 &= 1.4 \times 3720 \\
 &= 5208 \text{ kg/m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_u &= \frac{1}{8} q_u L^2 \\
 &= \frac{1}{8} \times 5208 \times 6^2 \\
 &= 23436 \text{ kgm} \\
 V_u &= \frac{1}{2} q_u L \\
 &= \frac{1}{2} \times 5208 \times 6 \\
 &= 15624 \text{ kg}
 \end{aligned}$$



Gambar 4. 45 Hasil Analisis Sloof 50/70 dengan Program PCA COL

Dari diagram diatas didapat $\rho = 1.106\%$ (Output PCA COL)

$$A_s \text{ perlu} = \rho b d$$

$$= 0.0111 \times 500 \times 627$$

$$= 3480 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned}
 \text{Jumlah tulangan (n)} &= \frac{A_s \text{ perlu}}{A_s \text{ tulangan}} \\
 &= \frac{3480}{380.133} \\
 &= 9.154 \approx 10 \text{ buah}
 \end{aligned}$$

Cek jarak tulangan :

$$\begin{aligned}
 (S) &= \frac{b - 2 \times \text{sel. beton} - 2 \times d \text{ sengkang} - n \times d \text{ tul. utama}}{n - 1} \\
 &= \frac{500 - 2 \times 50 - 2 \times 12 - 5 \times 22}{5 - 1} \\
 &= \frac{266}{4} \\
 &= 66.5 \text{ mm} > 25 \text{ mm} \quad (\text{Ok})
 \end{aligned}$$

Penulangan Geser

Gaya geser yang terjadi:

$$V_u = 15624 \text{ kg} = 153219.099 \text{ N}$$

$$\begin{aligned}
 V_c &= 0.17 \lambda \sqrt{f'_c} b_w d \left(1 + \frac{V_u}{14A_g} \right) \\
 &= 0.17 \times 1 \times \sqrt{30} \times 500 \times 627 \times \left(1 + \frac{153219.099}{14 \times 313500} \right) \\
 &= 302099.212 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\phi V_c = 0.75 \times 302099.212$$

$$= 226574.409 \text{ N}$$

$$\phi V_c > V_u \quad (\text{Tidak perlu tulangan geser})$$

Sehinggadipasang tulangan minimum

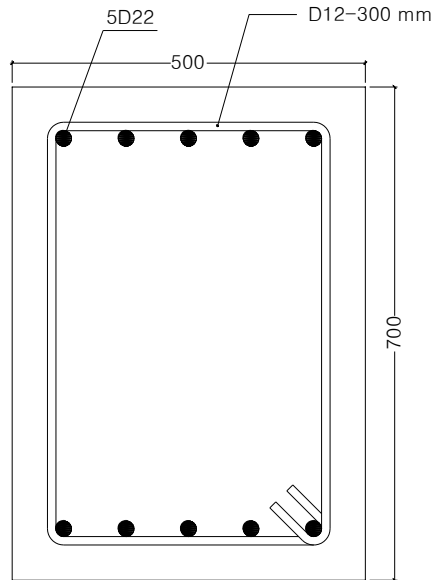
- direncanakan jarak tulangan (S) = 300 mm

$$\begin{aligned}
 A_{s \min} &= 0.062 \sqrt{f'_c} \frac{b_w s}{f_y} \\
 &= 0.062 \times \sqrt{30} \times \frac{500 \times 300}{410} \\
 &= 124.240 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Jumlah tulangan (n)} &= \frac{A_{s \min}}{A_{s \text{ tulangan}}} \\
 &= \frac{124.240}{133.097} \\
 &= 1.099 \approx 2 \text{ buah}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Jumlah tulangan (S)} &= \frac{1000}{2} \\
 &= 500 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Digunakan tulangan D12 – 300 mm ($A_s = 339.292 \text{ mm}^2$)



Gambar 4. 46 Detail Penulangan Sloof (*Tie Beam*)

4.12 Perencanaan Kolom Pedestal

Besarnya gaya-gaya dalam kolom diperoleh dari hasil analisis SAP 2000 pada kolom lantai dasar, adalah:

$$\begin{aligned} P_u &= 753148.58 \text{ kg} &= 7385.865 \text{ kn} \\ M_u &= 38583.87 \text{ kgm} &= 378.379 \text{ kn-mm} \\ V_u &= 21078.52 \text{ kg} &= 206.71 \text{ kn} \end{aligned}$$

Data perencanaan kolom:

$$\begin{aligned} b &= 800 \text{ mm} \\ h &= 800 \text{ mm} \\ A_g &= 640000 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Mutu bahan:

$$\begin{aligned} f'_c &= 30 \text{ MPa} \\ f_y &= 410 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\text{Tulangan utama (D)} = 25 \text{ mm}$$

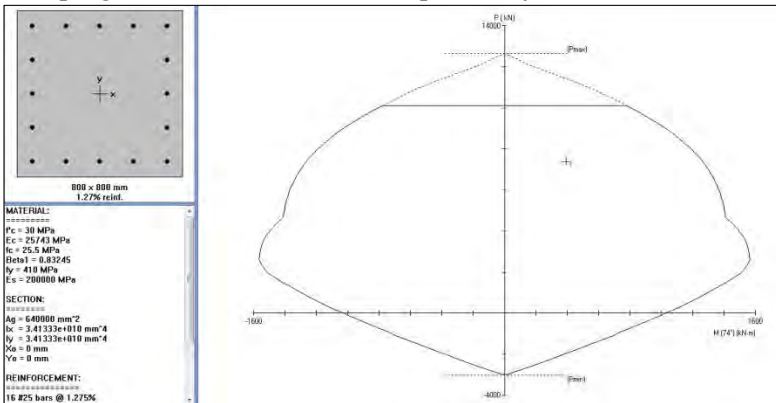
$$\text{Tulangan sengkang (D)} = 12 \text{ mm}$$

$$\text{Selimut beton} = 50 \text{ mm}$$

$$\text{Tinggi efektif (d')} = 800 - (50 + 12 + 1/2 \times 25) = 725.5 \text{ mm}$$

Penulangan lentur pada kolom

Dari program bantu PCA COL didapat nilai $\rho = 0.0127$



Gambar 4. 47 Hasil Analisis Kolom Pedestal Dengan Program PCA. Col

$$\begin{aligned} A_s \text{ perlu} &= \rho b d \\ &= 0.0127 \times 800 \times 725.5 \\ &= 7371.08 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Jumlah tulangan (n)} &= \frac{A_s \text{ perlu}}{A_s \text{ tulangan}} \\ &= \frac{7371.08}{490.874} \\ &= 15.016 \approx 16 \text{ buah} \end{aligned}$$

Cek jarak tulangan:

$$\begin{aligned} (S) &= \frac{b - 2 \times \text{sel. beton} - 2 \times d \text{ sengkang} - n \times d \text{ tul. utama}}{n - 1} \\ &= \frac{800 - 2 \times 50 - 2 \times 12 - 4 \times 25}{4 - 1} \\ &= \frac{576}{3} \\ &= 192 \text{ mm} > 25 \text{ mm} \quad (\text{Ok}) \end{aligned}$$

Penulangan geser kolom

$$\begin{aligned} V_u &= 21078.52 \text{ kg} \\ &= 206709.67 \text{ N} \end{aligned}$$

Kekuatan geser yang disumbangkan beton:

$$V_c = 0.17\lambda\sqrt{f'c}b_wd \left(1 + \frac{N_u}{14A_g}\right)$$

$$= 0.17 \times 1 \times \sqrt{30} \times 500 \times 725.5 \left(1 + \frac{206709.67}{14 \times 580400}\right)$$

$$= 554174.98 \text{ N}$$

$$\phi V_c = 0.6 \times 554174.98$$

$$= 332505 \text{ N}$$

$$\phi V_u = 332505 \text{ N} > V_c = 206709.67 \text{ N}$$

(tidak perlu tulangan geser)

Sehingga dipakai tulangan geser minimum:

$$A_{s \text{ min}} = 0.062\sqrt{f'c} \frac{b_ws}{f_y}$$

$$\text{Jarak sengkang (S)} \leq d/2$$

$$\text{direncanakan jarak sengkang (S)} = 300 \text{ mm} \leq 400 \text{ mm} \quad \textbf{(Ok)}$$

$$A_{s \text{ min}} = 0.062 \times \sqrt{30} \times \frac{800 \times 300}{410}$$

$$= 198.783 \text{ mm}^2$$

$$\text{Jumlah tulangan (n)} = \frac{A_{s \text{ min}}}{A_{s \text{ tulangan}}}$$

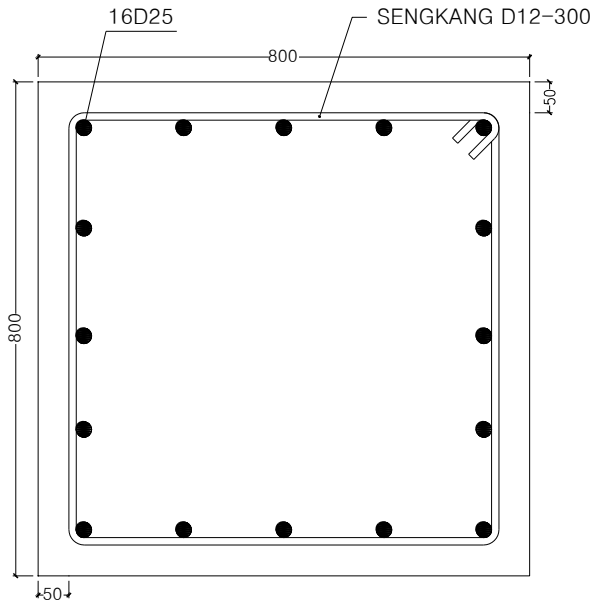
$$= \frac{198.783}{113.097}$$

$$= 1.758 \approx 2 \text{ buah}$$

$$\text{Jarak tulangan (S)} = \frac{1000}{2}$$

$$= 500 \text{ mm}$$

$$\text{Digunakan tulangan D12 – 300 mm (} A_s = 113.097 \text{ mm}^2 \text{)}$$



Gambar 4. 48 Penulangan Kolom Pedestal

4.13 Perencanaan Dinding Penahan Tanah (*Basement*)

4.14.1 Umum

Dinding penahan tanah merupakan struktur yang direncanakan untuk menahan beban akibat tanah pada basement. Dinding penahan tanah direncanakan hanya sebagai penahan tanah, dan tidak berhubungan dengan struktur gedung.

4.14.2 Data Tanah

Pada perencanaan ini basement berada pada kedalaman 0 hingga 3 m dibawah tanah. Sehingga terdapat 1 lapisan tanah, seperti pada gambar berikut.

Data tanah per lapisan adalah sebagai berikut:

$$\gamma = 18 \text{ KN/m}^3$$

$$C_u = 40 \text{ KN/m}^3$$

$$\phi = 0 \text{ KN/m}^3$$

4.14.3 Gaya yang Bekerja Pada Dinding

Metode yang digunakan dalam menentukan dinding penahan tanah adalah *free earth support*. Asumsi dari metode ini adalah:

1. Struktur penahan tanah dianggap benar-benar kaku dibandingkan dengan tanah sekitarnya.
2. Struktur penahan tanah dapat bergerak dengan cukup untuk membangkitkan minimum dari gaya-gaya aktif dan pasif tanah.

Perumusannya adalah sebagai berikut:

E = Luas bidang tegangan

$$K_a = \tan^2 \left(45 - \frac{\phi}{2} \right)$$

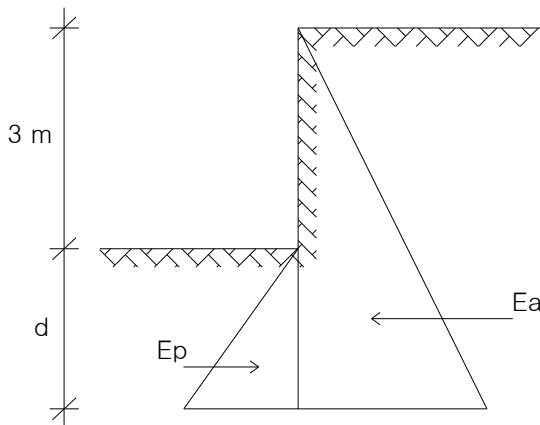
$$K_p = \tan^2 \left(45 + \frac{\phi}{2} \right)$$

$$\sigma_v = \gamma \cdot h$$

$$\sigma_{ha} = \sigma_v \cdot K_a - 2C\sqrt{K_a}$$

$$\sigma_{hp} = \sigma_v \cdot K_p + 2C\sqrt{K_a}$$

Sehingga perhitungan dapat dilihat pada tabel.



Gambar 4. 49 Diagram Tegangan Tanah

$$\sigma_{ha} = \gamma h K_a - 2C\sqrt{K_a}$$

$$\begin{aligned}
&= 1.8 \times (3 + d) \times 1 - 2 \times 4\sqrt{1} \\
&= 5.4 + 1.8d - 8 \\
&= 1.8d - 2.6 \\
\sigma_{hp} &= \gamma d K_p - 2C \sqrt{K_p} \\
&= 1.8 \times d \times 1 - 2 \times 4\sqrt{1} \\
&= 1.8d + 8 \\
E_a &= \frac{1}{2} (1.8d - 2.6) (3 + d) \\
&= \frac{1}{2} (5.4d + 1.8d^2 - 7.8 - 2.6d) \\
&= 2.7d + 0.9d^2 - 3.9 - 1.3d \\
&= 0.9d^2 + 1.4d - 3.9 \\
E_p &= \frac{1}{2} (1.8d + 8)d \\
&= \frac{1}{2} (1.8d^2 + 8d) \\
&= 0.9d^2 + 4d
\end{aligned}$$

Menentukan kedalaman (d) :

Tabel 4. 16 Momen Pada Dinding Penahan Tanah

	Gaya (ton)	r (m)	M (ton.m)
Pa	-21.110	2.517	-53.131
Pp	36.842	1.517	55.886
M max		=	2.755

Sehingga spesifikasi Struktur penahan tanah yang digunakan adalah yang memiliki momen retak lebih besar dari Momen max = 2.755 ton m.

4.14.4 Spesifikasi Dinding yang digunakan

Berdasarkan perhitungan yang telah dilakukan digunakan dinding penahan tanah jenis *FLAT CONCRETE SHEET PILE Type FRC-320 Class A* dengan spesifikasi sebagai berikut :

Width = 500 mm

Cross Section (t) = 1585 cm²

Section Inertia = 135455 cm⁴

Unit weight = 396 kg/m

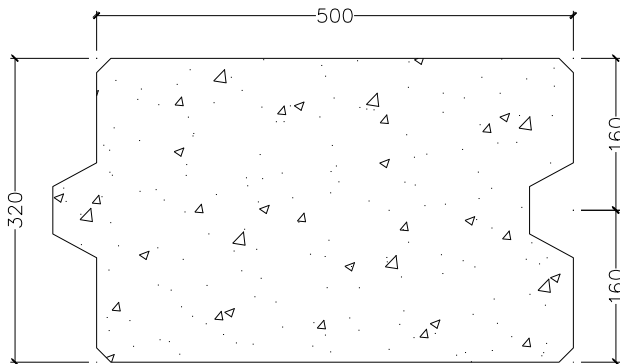
Moment Crack = 3.20 ton.m/0.5 m

Momen Capacity = 195 ton.m/0.5 m

Momen Breaking = 6.26 ton.m/0.5 m

Length = 4 – 8 m

Concrete Compressive Strength (Class A) f'_c = 28 MPa (Cube 350 kg/cm²).



Gambar 4. 51 Penampang *Sheet Pile Type FRC-320 Class A*

BAB V

KESIMPULAN

5.1 Kesimpulan

Dari hasil analisa dan perhitungan pada tugas akhir ini, dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Perencanaan struktur meliputi perencanaan pelat, tangga, balok anak, lift dengan beban mati maupun beban hidup.
2. Kontrol terhadap balok induk dilakukan pada dua kondisi yaitu sebelum komposit dan setelah komposit. Kontrol yang dilakukan meliputi kontrol lendutan, kontrol tekuk lokal, kontrol tekuk lateral, dan kontrol geser.
3. Kontrol terhadap kolom meliputi kontrol aksial, kontrol lentur, dan kontrol kombinasi aksial dan lentur.
4. Rigid Connection dilakukan pada sambungan balok dan kolom sedangkan Simple Connection dilakukan pada sambungan balok induk dengan balok anak.
5. Dimensi struktur yang digunakan adalah sebagai berikut:
 - Tebal pelat:
Pelat atap : 9 cm
Pelat lantai : 9 cm
 - Dimensi kolom:
Selubung beton : 75×75 cm
Profil : KC 588 \times 300 \times 12 \times 20
 - Dimensi balok induk : WF 600 \times 200 \times 11 \times 17
 - Dimensi balok anak:
Atap : WF 400 \times 200 \times 7 \times 11
Lantai : WF 400 \times 200 \times 7 \times 11
 - Profil balok tangga:
Utama : WF 300 \times 150 \times 6.5 \times 9
Penumpu : WF 200 \times 100 \times 5.5 \times 8
 - Profil balok lift : WF 400 \times 300 \times 10 \times 16
6. Hasil perhitungan struktur bawah didapatkan dimensi pedestal 800 \times 800 mm (tulangan utama 16D25, tulangan

geser D12-300 mm, dimensi sloof adalah 500×700 mm (tulangan lentur 10D12, tulangan geser D12-300 mm, pondasi menggunakan pondasi tiang pancang dari produk PT WIKA Beton D 45 cm dengan kedalaman 30 m dan dinding penahan tanah (basement) menggunakan jenis FLAT CONCRETE SHEET PILE Type FRC-320 Class A.

7. Hasil perencanaan struktur dapat dilihat pada lampiran berupa gambar teknik.

5.2 Saran

Perlu dilakukan studi yang lebih mendalam untuk menghasilkan perencanaan struktur dengan mempertimbangkan aspek teknis, ekonomi, dan estetika. Diharapkan perencanaan dapat dilaksanakan mendekati kondisi sesungguhnya di lapangan juga hasil yang diperoleh sesuai dengan tujuan perencanaan yaitu kuat, ekonomis, dan tepat waktu dalam pelaksanaannya.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR PUSTAKA

Salmon, Charles G., dan John E. Johnson. 1991. Struktur Baja : Desain dan Perilaku Jilid 2. Jakarta : Erlangga.

Setiawan, Agus. 2008. Perencanaan Struktur Baja Dengan Metode LRFD (berdasarkan SNI 03-1729-2002). Jakarta : Erlangga.

Suprobo, Priyo. 2000. Desain Balok Komposit Baja Beton. Surabaya : Jurusan Teknik Sipil FTSP ITS.

Standar SNI 03-1729-2012., “Standar Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Bangunan Gedung” Badan Standarisasi Nasional, 2012.

Standar SNI 1729:2015., “Standar Perencanaan Struktur Baja Untuk Bangunan Gedung” Badan Standarisasi Nasional, 2015.

Standar SNI 2847:2013., “Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung” Badan Standarisasi Nasional, 2013.

Standar SNI 1727:2013., “Beban Minimum Untuk Perancangan Bangunan Gedung dan Struktur Lain” Badan Standarisasi Nasional, 2013.

Tedia Anamika., Maru Savita. 2014. Cost, Analysis and Design of Steel-Concrete Composite Structure Rcc Structure. Journal of Mechanical and Civil Engineering Volume 11, Issue 1 Ver.II

Widiarsa, Ida Bagus Rai., dan Putu Deskarta. 2007. Kuat Geser Baja Komposit Dengan Variasi Tinggi Penghubung Geser Tipe-T Ditinjau dari Uji Geser Murni. Jurnal Ilmiah Teknik Sipil Vol. 11, No 1.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BIODATA PENULIS



Dian Rahmat Hardianto dilahirkan di Jombang, 7 Januari 1993. Penulis merupakan anak kedua dari dua bersaudara dari Bapak Sarbit Eko dan Ibu Sutiarsih. Penulis telah menempuh pendidikan formal di SDN Pulo Lor 1 Jombang, SMPN 1 Jombang, SMAN 1 Jombang, kemudian penulis melanjutkan di DIII Teknik Sipil FTSP-ITS Surabaya dan lulus pada tahun 2015. Selanjutnya pada tahun 2015 penulis melanjutkan pendidikan sarjananya di Institut Teknologi Sepuluh Nopember Jurusan Teknik Sipil (FTSP-ITS) Surabaya melalui Program Lintas Jalur dan terdaftar dengan NRP 3115 105 039.

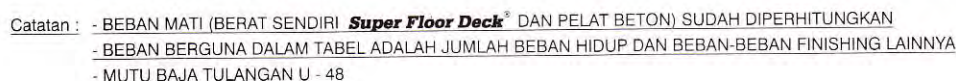
Di Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan ITS, pada semester tujuh penulis mengambil bidang minat Struktur.

Email: dian.rahmad9@gmail.com

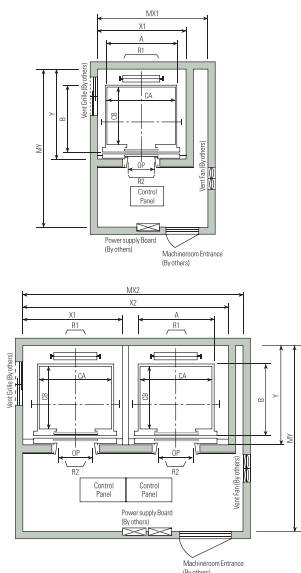
“Halaman ini sengaja dikosongkan”

A cross-sectional diagram of a roof assembly. It shows a corrugated metal deck with a horizontal reinforcement bar (likely a steel rod) passing through it. The bar is secured by several vertical clips or washers. The assembly is shown within a concrete structure, with a sloped roof surface above and a vertical wall or edge on the left.

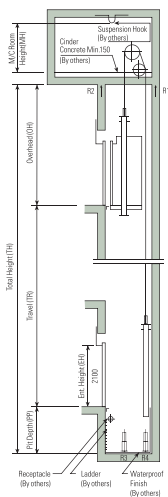
Semua ukuran dalam milimeter



Plan of Hoistway & Machine Room



Section of Hoistway



Overhead & Pit Depth

Speed (m/sec)	450 ~ 1000		1150 ~ 1600		M/C Room Height (MH)
	Load (kg)	Pit Depth (PP)	Overhead (OH)	Pit Depth (PP)	
1.0	4200	1300	4200	1400	2200
1.5	4400	1400	4400	1500	2400
1.75	4500	1500	4500	1600	
2.0	4700	1900	4700	2000	
2.5	5000	2200	5000	2200	2600

Notes : 1. Above dimensions are applied for car height of 2500mm, for other applicable dimensions, contact us.
2. In case of requested double isolation pad, machine room height should be increased 200mm.
3. Machine room temperature should be maintained below 40 °C with ventilating fan and/or air conditioner (if necessary) and humidity below 90%.

Standard Dimensions & Reactions

Manufacturer Standard

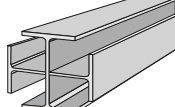
Manufacturer Standard														(Unit: mm)			
Speed (m/sec)	Capacity		Opening type	Clear Opening	Car		Hoistway Size			Machine Room Size			M/C Room Reaction (kg)		Pit Reaction (kg)		
	Persons	kg			Internal CA × CB	External A × B	1Car X1	2Cars X2	Depth Y	1Car MX1	2Cars MX2	MY	R1	R2	R3	R4	
1.0	6	450	2 Panel Center Open	800	1400 × 850	1440 × 1005	1800	3700	1450	2000	4000	3200	3600	2000	5400	4500	
	8	550		800	1400 × 1030	1440 × 1185	1800	3700	1450	2000	4000	3400	4050	2250	6000	4900	
	9	600		800	1400 × 1130	1440 × 1285	1800	3700	1750	2000	4000	3500	4100	2450	6300	5100	
	10	700		800	1400 × 1250	1440 × 1405	1800	3700	1850	2000	4000	3600	4200	2700	6800	5400	
	11	750		800	1400 × 1350	1440 × 1505	1800	3700	1950	2000	4000	3700	4550	2800	7100	5600	
	13	900		900	1600 × 1350	1640 × 1505	2050	4200	1950	2300	4400	3750	5100	3750	8100	6300	
1.5	15	1000	2 Panel Center Open	900	1600 × 1500	1640 × 1655	2050	4200	2100	2300	4400	3850	5450	4300	8600	6600	
	17	1150		1000	1800 × 1500	1900 × 1670	2350	4800	2200	2600	4900	3900	6600	5100	11000	8700	
1.75	20	1350		1100	2000 × 1350	2100 × 1520	2550	5200	2050	2800	5250	3800	7800	6000	12200	9500	
	24	1600		1100	1800 × 1700	1900 × 1870	2350	4800	2400	2600	4900	4200					
	2.0	13		900	1100	2000 × 1500	2100 × 1670	2550	5200	2200	2800	5250	4000				
		15		1000	1100	2000 × 1750	2100 × 1920	2550	5200	2450	2900	5400	4300	8500	6800	13600	10400
		17	1150	900	1600 × 1350	1700 × 1520	2250	4600	2100	2550	4600	4250	12030	6650	9000	7500	
		18	1200	900	1600 × 1500	1700 × 1670	2250	4600	2250	2550	4600	4250	13080	7150	11000	8700	
2.5	20	1350	1000	1800 × 1350	1900 × 1670	2450	5000	2250	2750	5000	4450						
	24	1600	1100	2000 × 1350	2100 × 1520	2650	5400	2100	2950	5400	4450	13080	7150	11000	8700		
	2.5	13	900	1100	2000 × 1750	2100 × 1920	2550	5000	2450	2950	5400	4450	14350	7650	12200	9500	
		15	1000	1100	2150 × 1600	2250 × 1770	2800	5700	2350	3100	5700	4800	15100	8100	13600	10400	

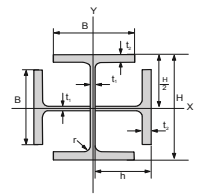
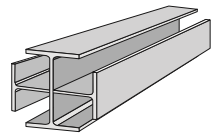
EN81 Standard

Speed (m/sec)	Capacity		Opening Type	Clear Opening	Car		Hoistway Size			Machine Room Size			M/C Room Reaction (kg)		Pit Reaction (kg)			
					Internal CA × CB	External A × B	1Car X1	2Cars X2	Depth Y	MX1	2Cars MX2	MY	R1	R2	R3	R4		
1.0	6	450	2 Panel Center Open	700	1000 × 1100	1160 × 1250	1550	3200	1700	1800	3500	3450	3600	2000	5400	4500		
				800	1400 × 850	1460 × 1005	1800	3700	1450	2000	4000	3200						
				800	1400 × 1030	1460 × 1185	1800	3700	1650	2000	4000	3400	4050	2250	6000	4900		
				800	1400 × 1100	1460 × 1255	1800	3700	1700	2000	4000	3450	4100	2450	6300	5100		
				9	700	800	1400 × 1250	1460 × 1405	1800	3700	1850	2000	4000	3600	4200	2700	6800	5400
	10	800		800	1400 × 1350	1460 × 1505	1800	3700	1950	2000	4000	3700	4550	2800	7100	5600		
				900	1600 × 1300	1660 × 1455	2050	4200	1900	2300	4400	3700	5100	3750	8100	6300		
				13	1000	900	1600 × 1400	1660 × 1555	2050	4200	2000	2300	4400	3700	5450	4300	8600	6600
				15	1150	1000	1800 × 1400	1900 × 1570	2350	4800	2100	2600	4900	3800	6600	5100	11000	8700
				18	1350	1100	2000 × 1300	2100 × 1470	2550	5200	2000	2800	5250	3750				
2.0	12	900	2 Panel Center Open	1000	1800 × 1650	1900 × 1820	2350	4800	2350	2600	4900	4150	7800	6000	12200	9500		
				1100	2000 × 1500	2100 × 1670	2550	5200	2200	2800	5250	4000						
				15	1150	1100	2000 × 1700	2100 × 1870	2550	5200	2400	2900	5400	4250	8500	6800	13600	10400
				18	1350	1100	2150 × 1600	2250 × 1770	2700	5500	2300	3000	5650	4200				
				21	1600	1100	2400 × 1500	2500 × 1670	2900	5800	2400	3100	5950	4200	10500	6400	8200	7300
	12	900		800	1400 × 1350	1500 × 1520	2050	4200	2100	2350	4200	4100	10500	6400	8200	7300		
				900	1600 × 1300	1700 × 1470	2250	4600	2050	2550	4600	4050	12030	6650	9000	7500		
				13	1000	900	1600 × 1400	1700 × 1570	2250	4600	2150	2550	4600	4150	12800	6950	9400	8000
				15	1150	1000	1800 × 1500	1900 × 1670	2450	5000	2150	2950	5000	4450	13080	7150	11000	8700
				18	1350	1100	2000 × 1350	2100 × 1520	2650	5400	2100	2950	5400	4450	14350	7650	12200	9500
2.5	13	900	2 Panel Center Open	1100	1800 × 1700	1900 × 1870	2450	5000	2450	2750	5000	4450						
				1100	2000 × 1500	2100 × 1670	2650	5400	2250	2950	5400	4450	14350	7650	12200	9500		
				15	1150	1100	2000 × 1750	2100 × 1920	2650	5400	2500	2950	5400	4450	15100	8100	13600	10400
				21	1600	1100	2400 × 1500	2500 × 1670	2900	5800	2350	3100	5700	4800				

King Cross

Metric Size

Standard Sectional Dimension						Sectional Area	Unit Weight	Informative Reference						Remarks
Sectional Index	Depth of Section	Width of Section	Thickness		Corner Radius			Geometrical Moment of Inertia		Radius of Gyration of Area		Modulus of Section		
			Web	Flange										
	H	B	t ₁	t ₂	r			I _x	I _y	i _x	i _y	Z _x	Z _y	
mm	mm	mm	mm	mm	mm	cm ²	kg/m	cm ⁴	cm ⁴	cm	cm	cm ³	cm ³	
K 150 x 75	150	75	5	7	8	35.7	28	716	767	4.48	4.64	95.4	99.1	
K 200 x 100	200	100	5.5	8	11	54.32	42.6	1,974	2,095	6.03	6.21	197.4	203.9	
K 198 x 99	198	99	4.5	7	11	46.36	36.4	1,694	1,778	6.04	6.23	171.1	175.6	
K 250 x 125	250	125	6	9	12	75.32	59.2	4,344	4,567	7.59	7.79	347.5	356.9	
K 248 x 124	248	124	5	8	12	65.36	51.4	3,765	3,924	7.59	7.75	303.6	310.2	
K 300 x 150	300	150	6.5	9	13	93.56	73.4	7,718	8,073	9.08	9.29	514.5	526.9	
K 298 x 149	298	149	5.5	8	13	81.6	64	6,762	7,024	9.1	9.28	453.8	462.9	
K 350 x 175	350	175	7	11	14	126.28	99.2	14,554.1	5,128	10.75	10.95	831.7	847.5	
K 346 x 174	346	174	6	9	14	105.36	82.8	11,892	12,321	10.62	10.62	687.4	700.0	
K 400 x 200	400	200	8	13	16	168.24	132	25,440	26,519	12.3	12.55	1,272	1,299.9	
K 396 x 199	396	199	7	11	16	144.32	113.2	21,450	22,267	12.19	12.19	1,083.3	1,105.1	
K 450 x 200	450	200	9	14	18	193.52	152	35,370	36,851	13.52	13.52	1,572.0	1,605.7	
K 500 x 200	500	200	10	16	20	228.4	179.2	49,940	52,189	14.79	15.7	1,997.6	2,046.6	
K 600 x 200	600	200	11	17	22	268.8	212	79,880	83,229	17.24	17.24	2,662.7	2,724.4	
K 588 x 300	588	300	12	20	28	385	302	127,020	132,585	18.16	18.16	4,320.4	4,419.5	
K 700 x 300	700	300	13	24	28	471	369.7	211,800	220,791	21.21	21.65	6,051.4	6,193.3	
K 800 x 300	800	300	14	26	28	534.8	419.8	303,700	315,027	23.83	24.27	7,592.5	7,740.2	



NOTE :






- H = H/2 = Height of T-Beam
- Material specification refer to Wide Flange (IWF)
- Tolerance H= ±2mm
- Welded specification as per AWS E-6013
- Non standard sizes are available upon request and subject to minimum quantity

DRILLING LOG

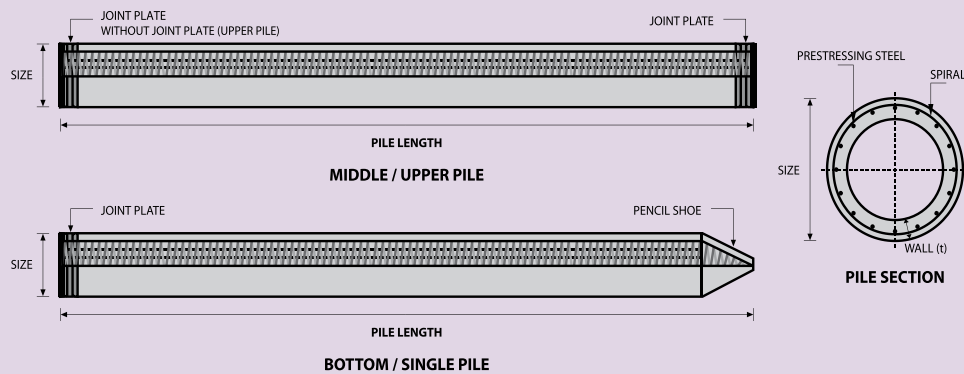
Remarks.
UD = Undisturb Sample
SPT = SPT Test

Day	Number of Cases (approx.)
11	11
16	16
19	19
20	20
21	21
22	22
23	23
26	26
27	27
28	11

Legenda :

	= Lempung		= Pasir		= Batu
	= Lanau		= Kerikil		

PILE SHAPE & SPECIFICATION | PRESTRESSED CONCRETE SPUN PILES



PRESTRESSED CONCRETE SPUN PILES SPECIFICATION

Concrete Compressive Strength $f_c' = 52 \text{ MPa}$ (Cube 600 kg/cm^2)

Size (mm)	Thickness Wall (t)	Cross Section (cm^2)	Section Inertia (cm^4)	Unit Weight (kg/m)	Class	Bending Moment		Allowable Compression (ton)	Decompression Tension (ton)	Length of Pile ** (m)
						Crack * (ton.m)	Break (ton.m)			
300	60	452.39	34,607.78	113	A2	2.50	3.75	72.60	23.11	6 - 12
					A3	3.00	4.50	70.75	29.86	6 - 13
					B	3.50	6.30	67.50	41.96	6 - 14
					C	4.00	8.00	65.40	49.66	6 - 15
350	65	581.98	62,162.74	145	A1	3.50	5.25	93.10	30.74	6 - 13
					A3	4.20	6.30	89.50	37.50	6 - 14
					B	5.00	9.00	86.40	49.93	6 - 15
					C	6.00	12.00	85.00	60.87	6 - 16
400	75	765.76	106,488.95	191	A2	5.50	8.25	121.10	38.62	6 - 14
					A3	6.50	9.75	117.60	45.51	6 - 15
					B	7.50	13.50	114.40	70.27	6 - 16
					C	9.00	18.00	111.50	80.94	6 - 17
450	80	929.91	166,570.38	232	A1	7.50	11.25	149.50	39.28	6 - 14
					A2	8.50	12.75	145.80	53.39	6 - 15
					A3	10.00	15.00	143.80	66.57	6 - 16
					B	11.00	19.80	139.10	78.84	6 - 17
500	90	1,159.25	255,324.30	290	C	12.50	25.00	134.90	100.45	6 - 18
					A1	10.50	15.75	185.30	54.56	6 - 15
					A2	12.50	18.75	181.70	68.49	6 - 16
					A3	14.00	21.00	178.20	88.00	6 - 17
600	100	1,570.80	510,508.81	393	B	15.00	27.00	174.90	94.13	6 - 18
					C	17.00	34.00	169.00	122.04	6 - 19
					A1	17.00	25.50	252.70	70.52	6 - 16
					A2	19.00	28.50	249.00	77.68	6 - 17
800	120	2,563.54	1,527,869.60	641	A3	22.00	33.00	243.20	104.94	6 - 18
					B	25.00	45.00	238.30	131.10	6 - 19
					C	29.00	58.00	229.50	163.67	6 - 20
					A1	40.00	60.00	415.00	119.34	6 - 20
1000 ***	140	3,782.48	3,589,571.20	946	A2	46.00	69.00	406.10	151.02	6 - 21
					A3	51.00	76.50	399.17	171.18	6 - 22
					B	55.00	99.00	388.61	215.80	6 - 23
					C	65.00	130.00	368.17	290.82	6 - 24
1200 ***	150	4,948.01	6,958,136.85	1,237	A1	75.00	112.50	613.52	169.81	6 - 22
					A2	82.00	123.00	601.27	215.16	6 - 23
					A3	93.00	139.50	589.66	258.19	6 - 24
					B	105.00	189.00	575.33	311.26	6 - 24
					C	120.00	240.00	555.23	385.70	6 - 24
					A1	120.00	180.00	802.80	221.30	6 - 24
					A2	130.00	195.00	794.50	252.10	6 - 24
					A3	145.00	217.50	778.60	311.00	6 - 24
					B	170.00	306.00	751.90	409.60	6 - 24
					C	200.00	400.00	721.50	522.20	6 - 24

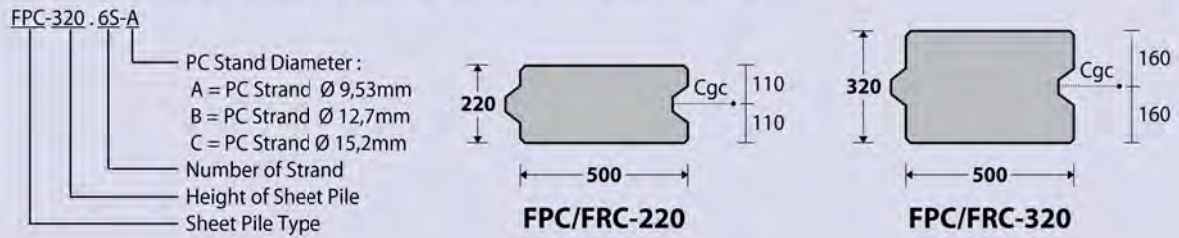
Unit Conversion : 1 ton = 9.8060 kN

Note : *) Crack Moment Based on JIS A 5335-1987 (Prestressed Spun Concrete Piles)

**) Length of pile may exceed usual standard whenever lifted in certain position

**) Type of Shoe for Bottom Pile is Mamira Shoe

PRODUCT SHAPE & SPECIFICATION | FLAT CONCRETE SHEET PILES



FRC SHEET PILES SPECIFICATION

Concrete Compressive Strength (Class A) $f_c' = 28 \text{ MPa}$ (Cube 350 kg/cm^2)
 Concrete Compressive Strength (Class B) $f_c' = 42 \text{ MPa}$ (Cube 500 kg/cm^2)

Type	Width (mm)	Cross Section (cm^2)	Section Inertia (cm^4)	Unit Weight (kg/m)	Class	Moment Crack (ton.m/0.5m)	Moment (ton.m/0.5m) Capacity	Moment (ton.m/0.5m) Breaking	Length* (m)
FRC-220	500	1,085	43,802	271	A	1.50	3.20	4.00	4 - 7
					B	1.84	4.70	5.88	4 - 7
FRC-320	500	1,585	135,455	396	A	3.20	5.01	6.26	4 - 8
					B	3.92	7.41	9.26	4 - 9

FPC SHEET PILES SPECIFICATION

Concrete Compressive Strength $f_c' = 42 \text{ MPa}$ (Cube 500 kg/cm^2)

Type	Width (mm)	Cross Section (cm^2)	Section Inertia (cm^4)	Unit Weight (kg/m)	Class	Moment Crack (ton.m/0.5m)	Service Moment (ton.m/0.5m)		Length* (m)
							Temporary	Permanent	
FPC-220	500	1,085	43,802	271	6S-A	3.38	2.85	1.54	4 - 9
					8S-A	3.85	3.32	2.01	4 - 10
					10S-A	4.30	3.77	2.46	4 - 10
					6S-B	4.48	3.95	2.64	4 - 11
					8S-B	5.22	4.69	3.38	4 - 11
					6S-C	5.39	4.86	3.55	4 - 12
					10S-B	5.89	5.36	4.05	4 - 12
					8S-C	6.31	5.78	4.47	4 - 13
FPC-320	500	1,585	135,455	396	6S-A	6.24	5.12	2.32	4 - 10
					8S-A	6.98	5.86	3.06	4 - 11
					10S-A	7.70	6.58	3.78	4 - 12
					6S-B	7.98	6.86	4.06	4 - 12
					12S-A	8.39	7.27	4.47	4 - 12
					14S-A	9.07	7.95	5.15	4 - 12
					8S-B	9.21	8.09	5.29	4 - 13
					6S-C	9.51	8.39	5.59	4 - 13
					16S-A	9.73	8.61	5.81	4 - 13
					10S-B	10.37	9.25	6.45	4 - 13
					8S-C	11.12	10.00	7.20	4 - 14
					12S-B	11.48	10.36	7.56	4 - 14
					14S-B	12.53	11.41	8.61	4 - 15
					10S-C	12.62	11.50	8.70	4 - 15
					16S-B	13.52	12.40	9.60	4 - 15

Note: * Length of Flat Prestressed Concrete Sheet Piles may exceed usual standard whenever lifted in certain position

PRODUCT APPLICATION



Retaining Wall



River Normalization



Underpass Wall



Breakwater Structure

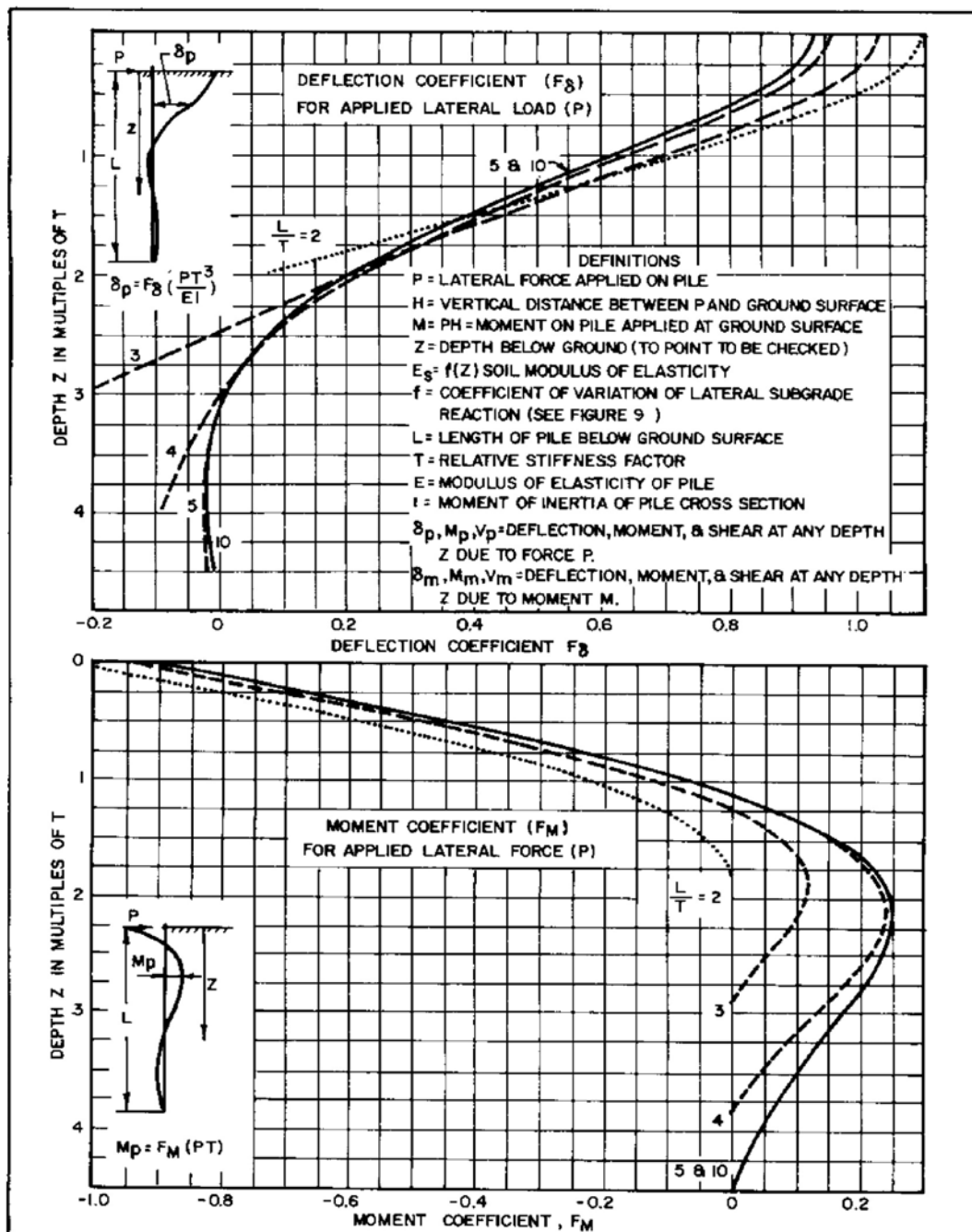
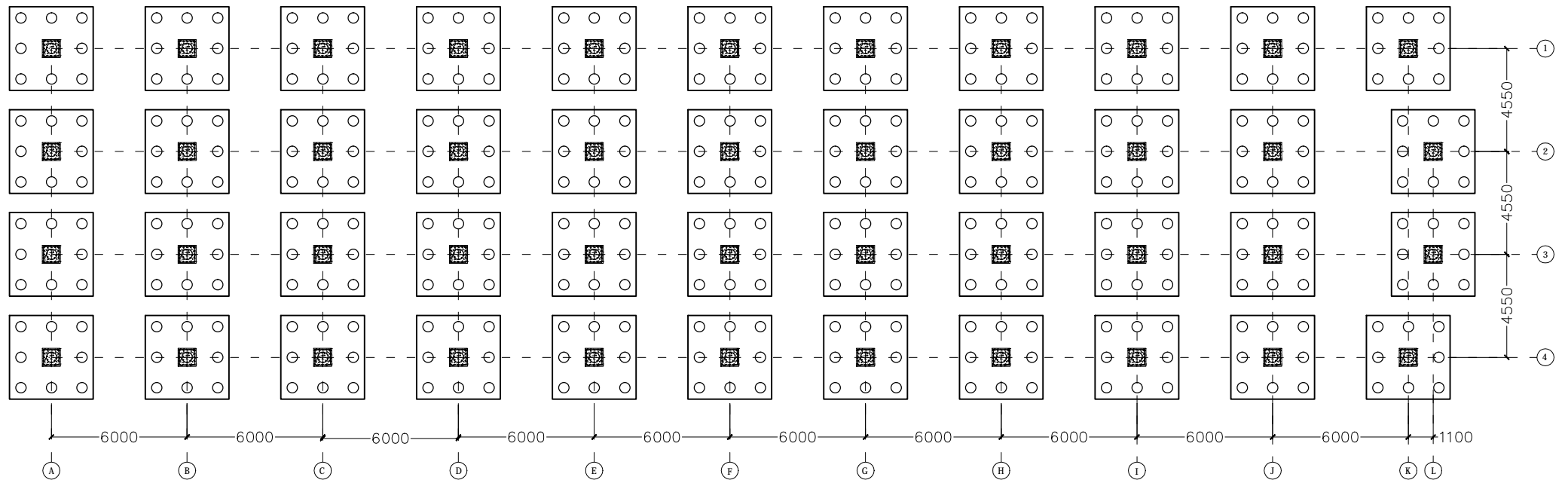


FIGURE 12
Influence Values for Laterally Loaded Pile
(Case II. Fixed Against Rotation at Ground Surface)

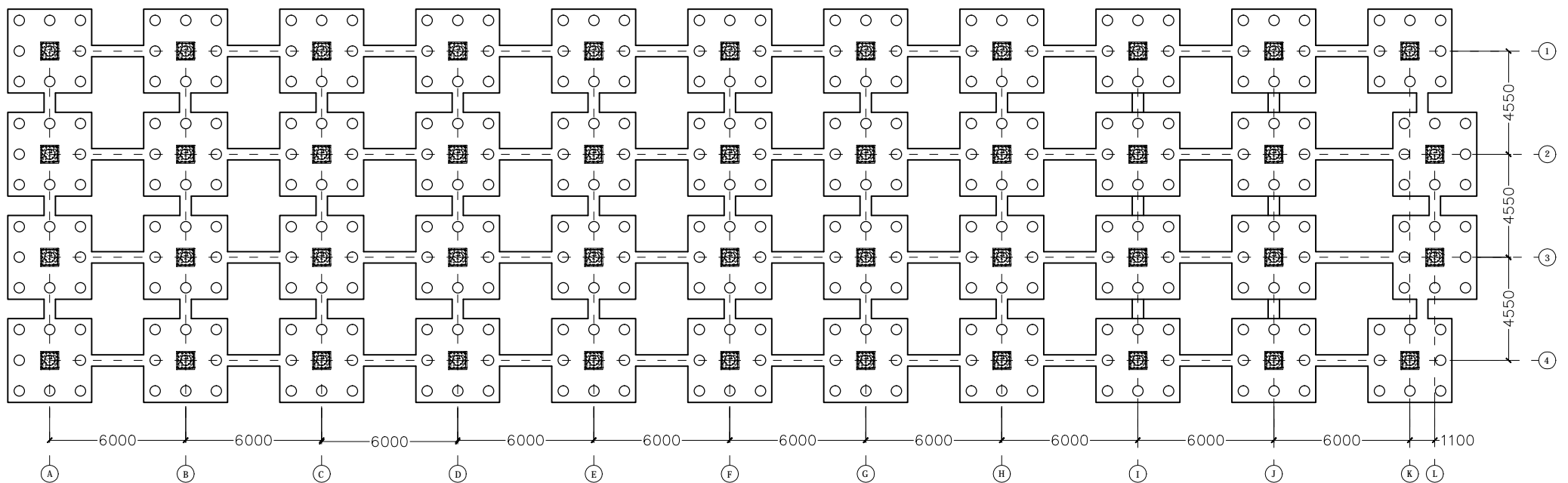


DENAH PONDASI
 ⬆ Skala 1:250



FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
 INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
 SURABAYA 2017

Nama Tugas	No.Lmbr	Jumlah Lmbr	Kode	Dosen Pembimbing TA	Nama & Nrp Mahasiswa
Perencanaan Gedung Apartemen Pavilion Permata Surabaya	6	23	STR	1. Dr.techn. Pujo Aji, ST.MT 2. Budi Suswanto, ST.MT.PhD	Dian Rahmat Hardianto (3115105039)

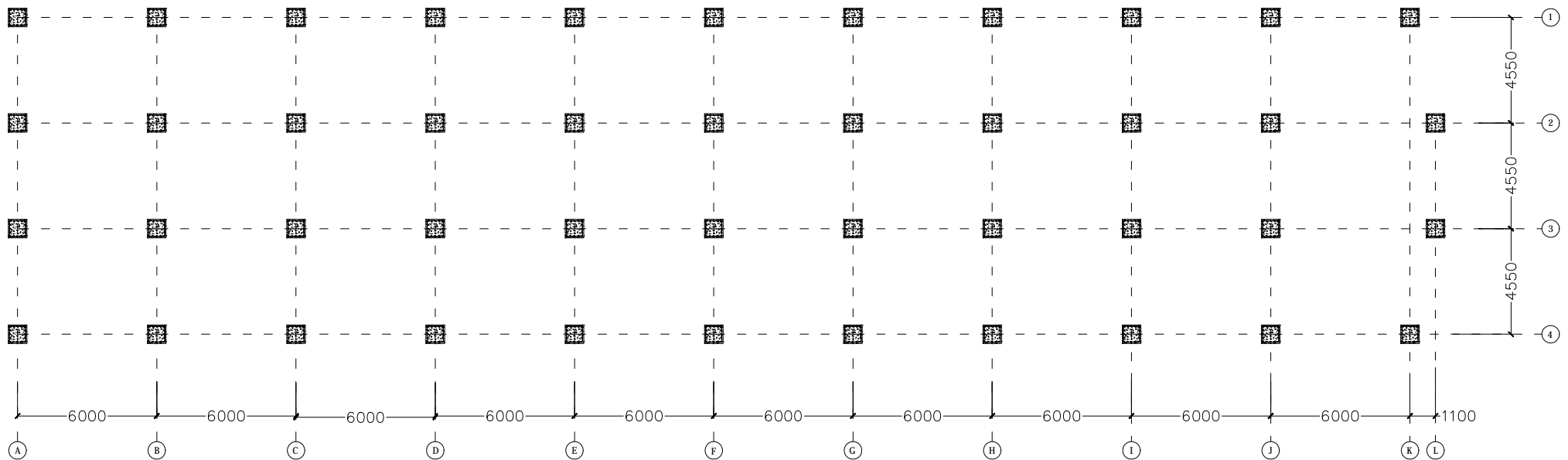


DENAH SLOOF
Skala 1:250



FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA 2017

Nama Tugas	No.Lmbr	Jumlah Lmbr	Kode	Dosen Pembimbing TA	Nama & Nrp Mahasiswa
Perencanaan Gedung Apartemen Pavilion Permata Surabaya	7	23	STR	1. Dr.techn. Pujo Aji, ST.MT 2. Budi Suswanto, ST.MT.PhD	Dian Rahmat Hardianto (3115105039)



DENAH KOLOM LANTAI BASEMENT
Skala 1:250



FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA 2017

Nama Tugas
Perencanaan Gedung Apartemen
Pavilion Permata Surabaya

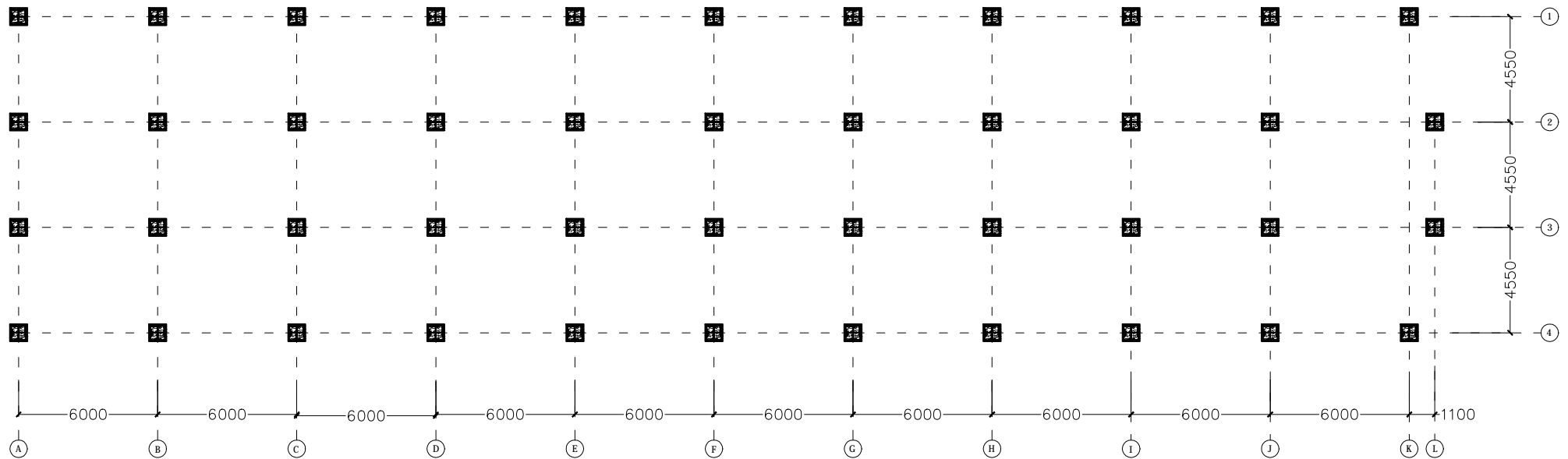
No.Lmbr
8

Jumlah Lmbr
23

Kode
STR

Dosen Pembimbing TA
1. Dr.techn. Pujo Aji, ST.MT
2. Budi Suswanto, ST.MT.PhD

Nama & Nrp Mahasiswa
Dian Rahmat Hardianto
(3115105039)



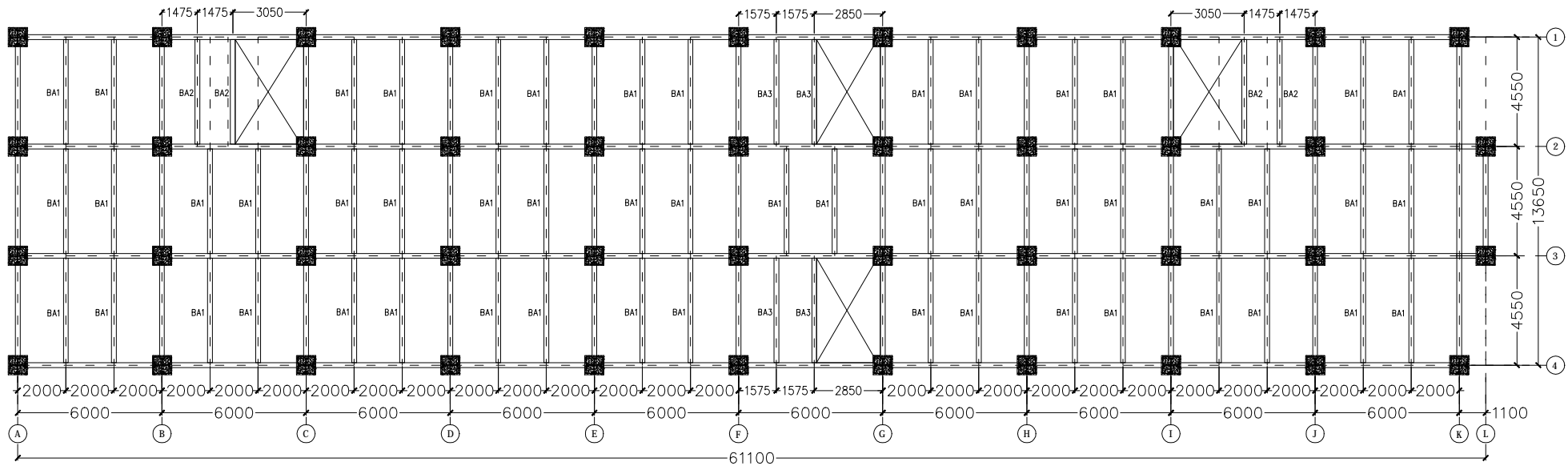
DENAH KOLOM LANTAI 1-13 TIPIKAL
Skala 1:250



FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA 2017

Nama Tugas	No.Lmbr	Jumlah Lmbr	Kode	Dosen Pembimbing TA	Nama & Nrp Mahasiswa
Perencanaan Gedung Apartemen Pavilion Permata Surabaya	9	23	STR	1. Dr.techn. Pujo Aji, ST.MT 2. Budi Suswanto, ST.MT.PhD	Dian Rahmat Hardianto (3115105039)

KETERANGAN	
BA1	WF400.200.7.11
BA2	WF400.200.7.11
BA3	WF400.200.7.11



DENAH BALOK ANAK LANTAI ATAP (LANTAI 13)
Skala 1:250



FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA 2017

Nama Tugas
Perencanaan Gedung Apartemen
Pavilion Permata Surabaya

No.Lmbr
10

Jumlah Lmbr
23

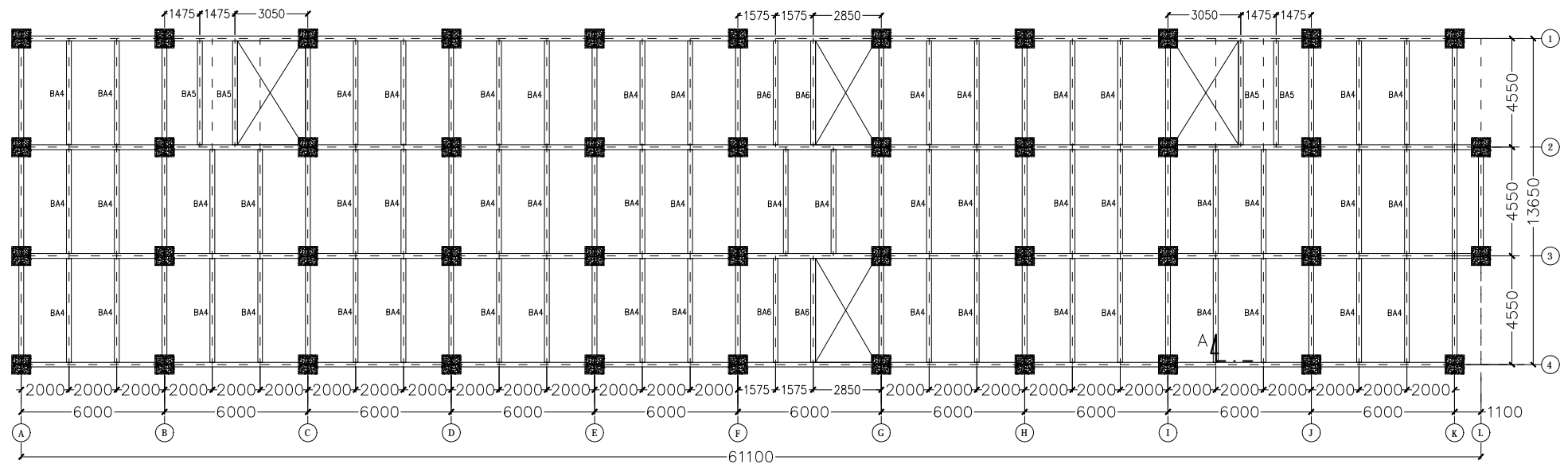
Kode
STR

Dosen Pembimbing TA
1. Dr.techn. Pujo Aji, ST.MT
2. Budi Suswanto, ST.MT.Phd

Nama & Nrp Mahasiswa
Dian Rahmat Hardianto
(3115105039)

KETERANGAN

BA4	WF400.200.7.11
BA5	WF400.200.7.11
BA6	WF400.200.7.11



DENAH BALOK ANAK LANTAI 1-12 TIPIKAL
Skala 1:250



FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA 2017

Nama Tugas
Perencanaan Gedung Apartemen
Pavilion Permata Surabaya

No.Lmbr
11

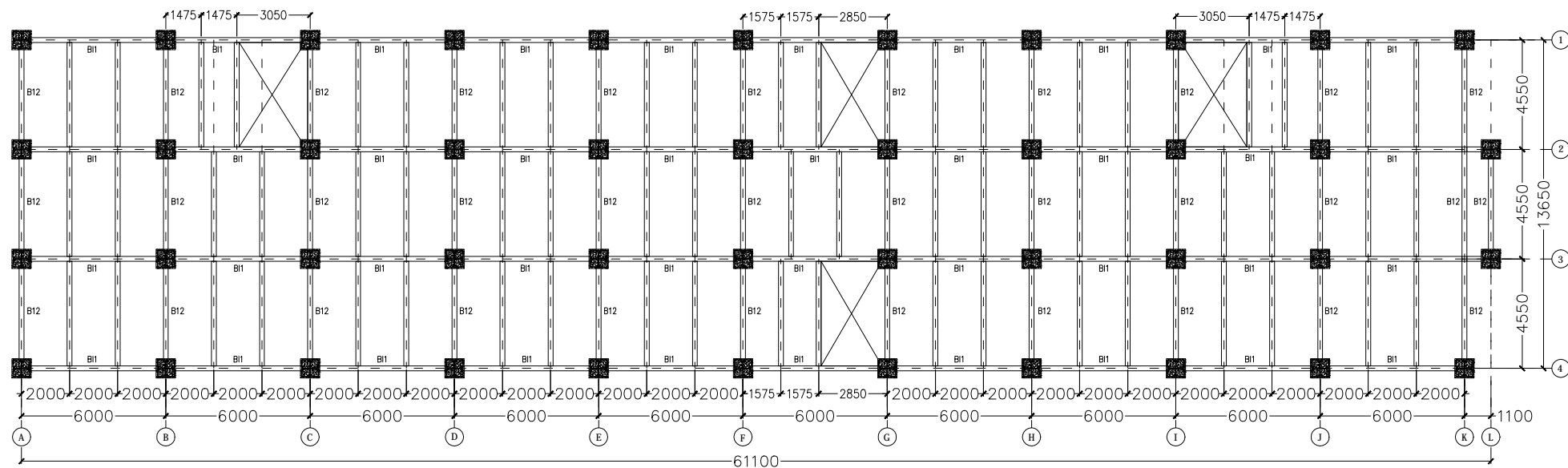
Jumlah Lmbr
23

Kode
STR

Dosen Pembimbing TA
1. Dr.techn. Pujo Aji, ST.MT
2. Budi Suswanto, ST.MT.Phd

Nama & Nrp Mahasiswa
Dian Rahmat Hardianto
(3115105039)

KETERANGAN	
BI1	WF600.200.11.17
BI2	WF600.200.11.17



DENAH BALOK INDUK LANTAI ATAP (LANTAI 13)
Skala 1:250



FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA 2017

Nama Tugas
Perencanaan Gedung Apartemen Pavilion Permata Surabaya

No.Lmbr
12

Jumlah Lmbr	
23	

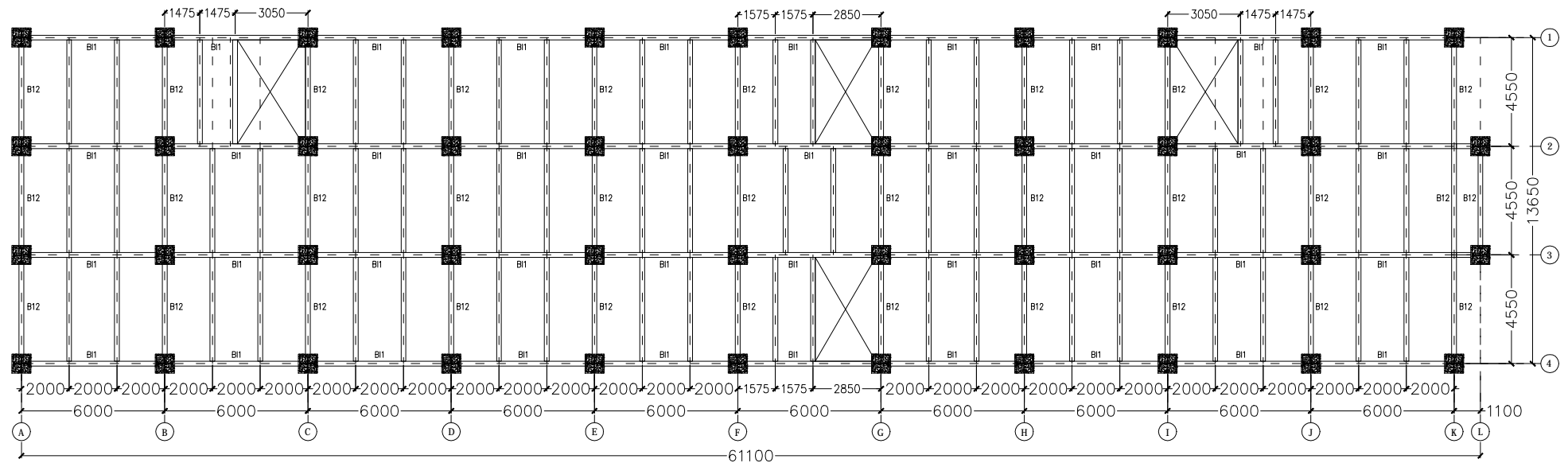
Kode
STR

Dosen Pembimbing TA
1. Dr.techn. Pujo Aji, ST.MT
2. Budi Suswanto, ST.MT.PhD

Nama & Nrp Mahasiswa
Dian Rahmat Hardianto (3115105039)

KETERANGAN

BI1	WF600.200.11.17
BI2	WF600.200.11.17



DENAH BALOK INDUK LANTAI 1-12 TIPIKAL
Skala 1:250



FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA 2017

Nama Tugas
Perencanaan Gedung Apartemen
Pavilion Permata Surabaya

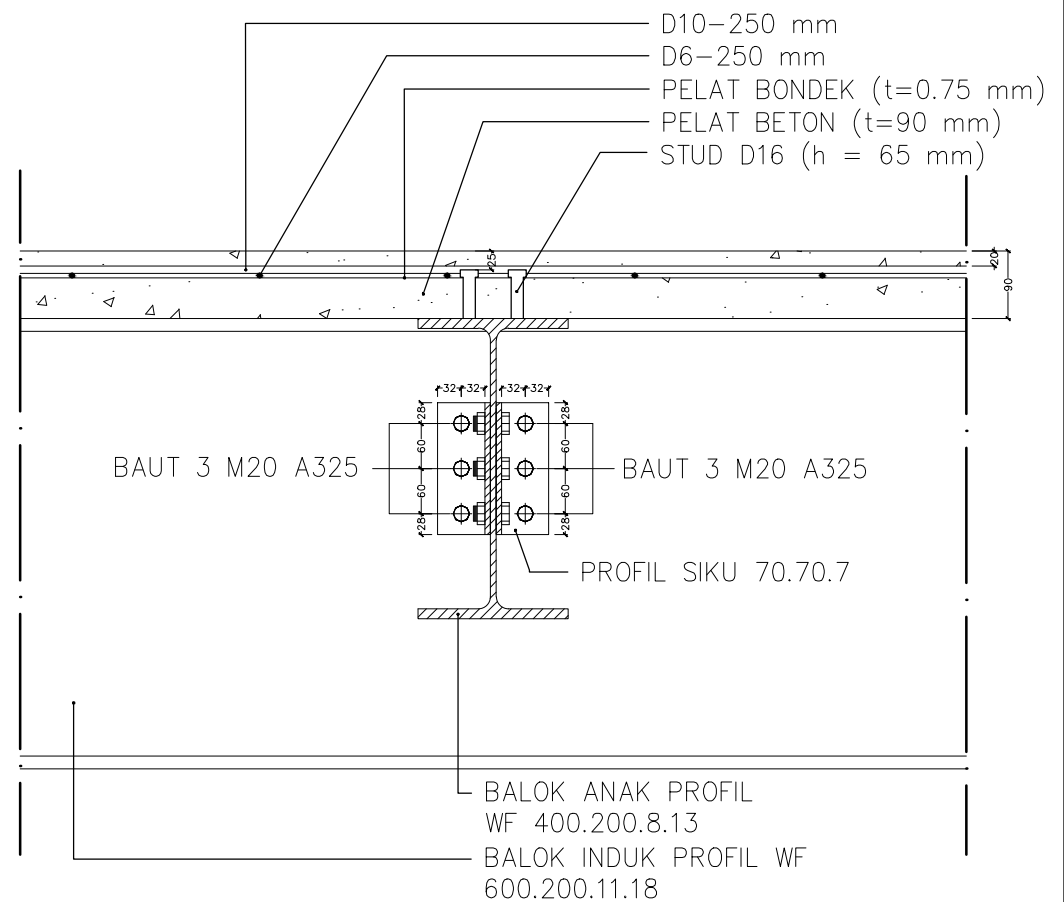
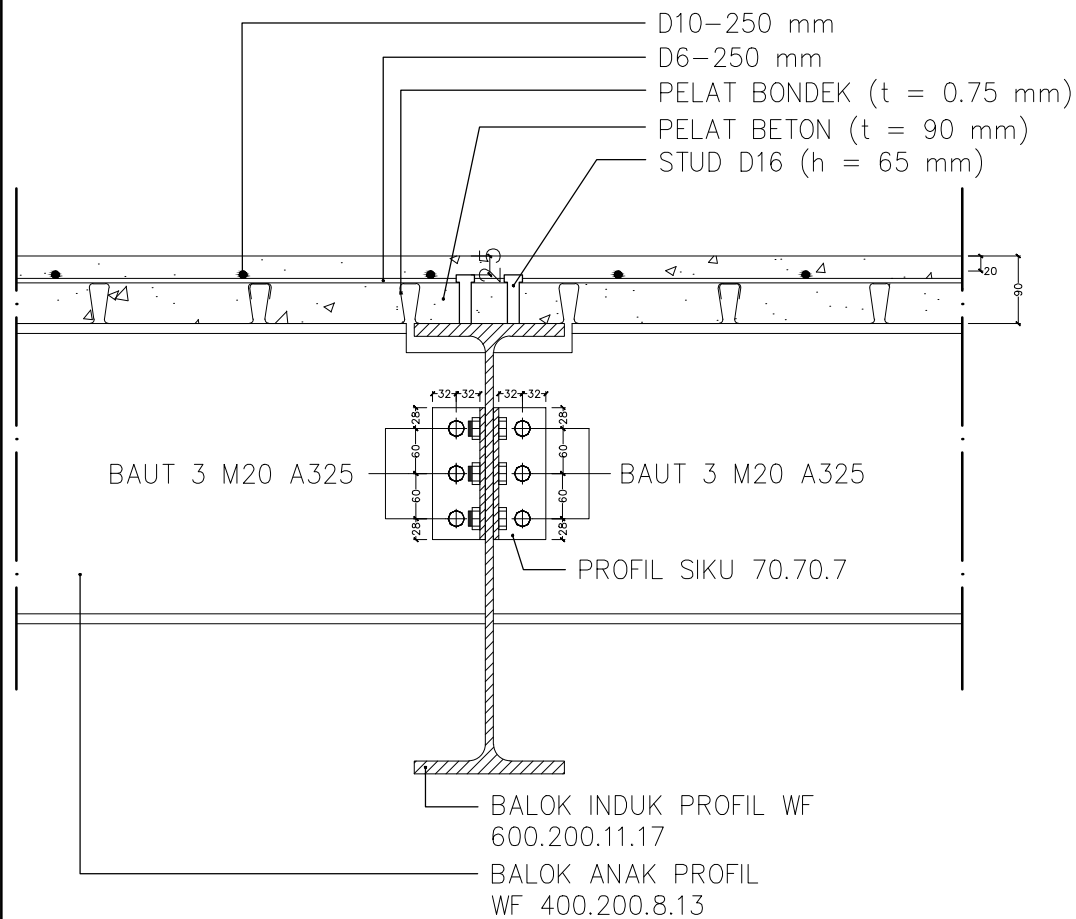
No.Lmbr
13

Jumlah Lmbr
23

Kode
STR

Dosen Pembimbing TA
1. Dr.techn. Pujo Aji, ST.MT
2. Budi Suswanto, ST.MT.Phd

Nama & Nrp Mahasiswa
Dian Rahmat Hardianto
(3115105039)



DETAIL SAMB.BLK ANAK DAN BLK INDUK

Skala 1:10



FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA 2017

Nama Tugas
Perencanaan Gedung Apartemen
Pavilion Permata Surabaya

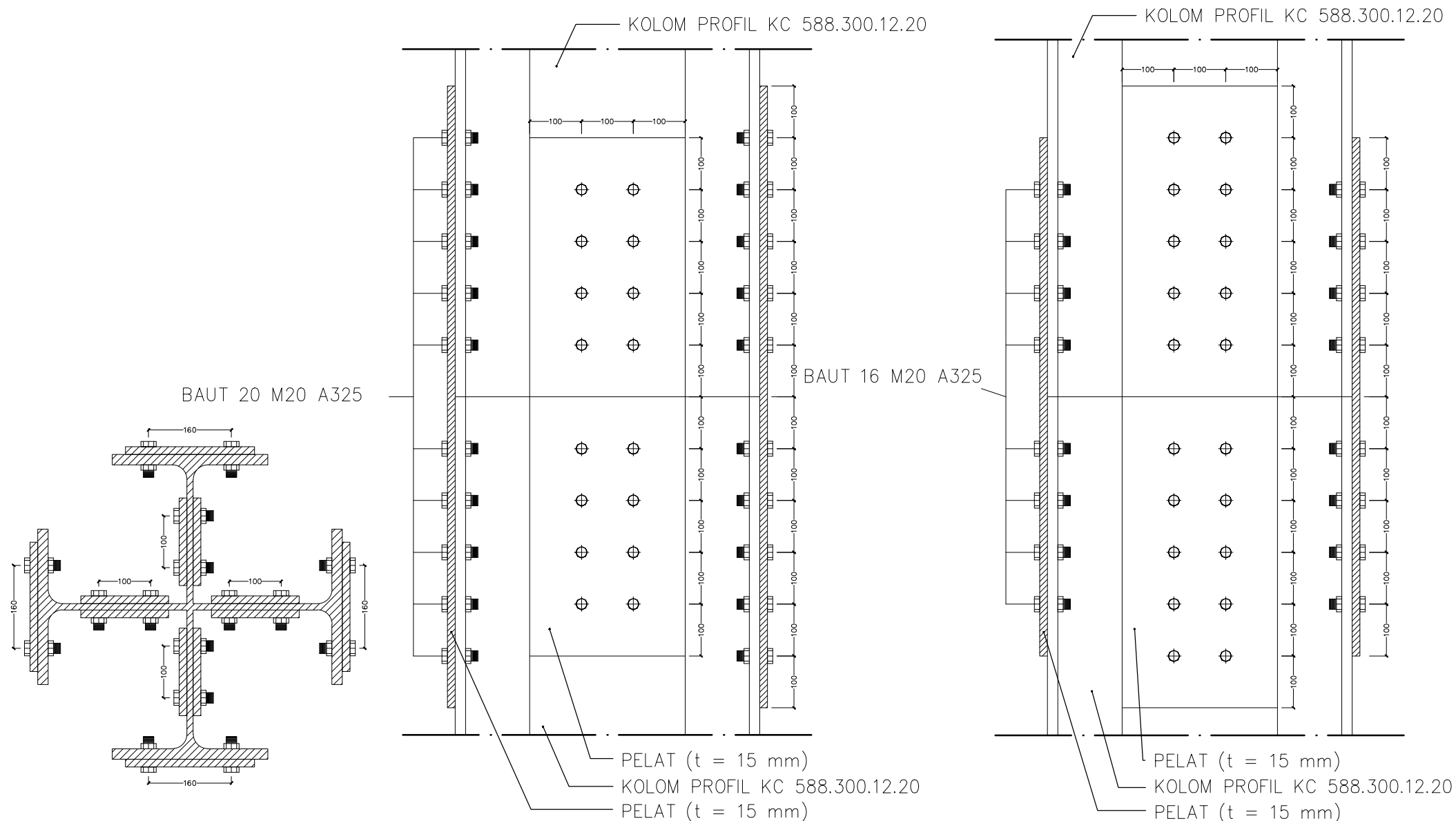
No.Lmbr
14

Jumlah Lmbr
23

Kode
STR

Dosen Pembimbing TA
1. Dr.techn. Pujo Aji, ST.MT
2. Budi Suswanto, ST.MT.PhD

Nama & Nrp Mahasiswa
Dian Rahmat Hardianto
(3115105039)

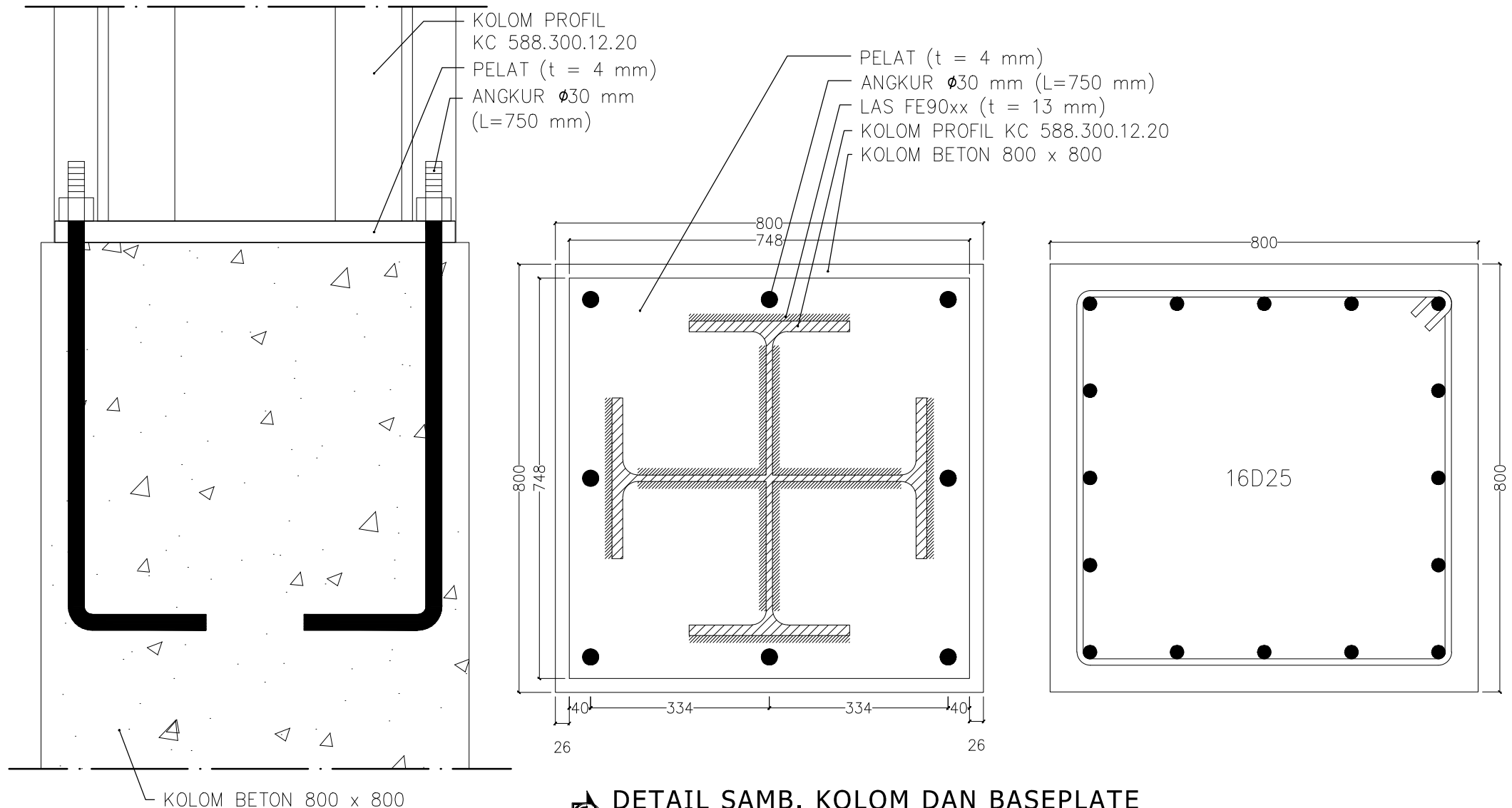


DETAIL SAMB. ANTAR KOLOM
Skala 1:10



FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA 2017

Nama Tugas	No.Lmbr	Jumlah Lmbr	Kode	Dosen Pembimbing TA	Nama & Nrp Mahasiswa
Perencanaan Gedung Apartemen Pavilion Permata Surabaya	16	23	STR	1. Dr.techn. Pujo Aji, ST.MT 2. Budi Suswanto, ST.MT.PHD	Dian Rahmat Hardianto (3115105039)



DETAIL SAMB. KOLOM DAN BASEPLATE
Skala 1:10



FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA 2017

Nama Tugas
Perencanaan Gedung Apartemen
Pavilion Permata Surabaya

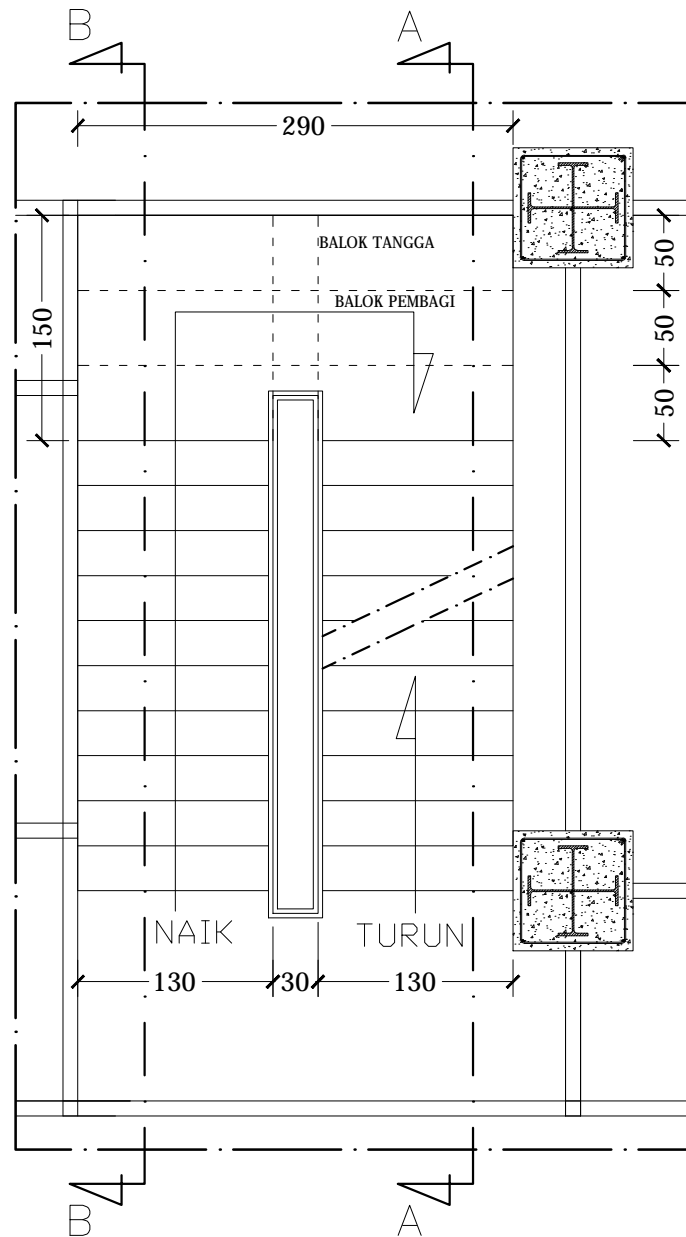
No.Lmbr
17

Jumlah Lmbr
23

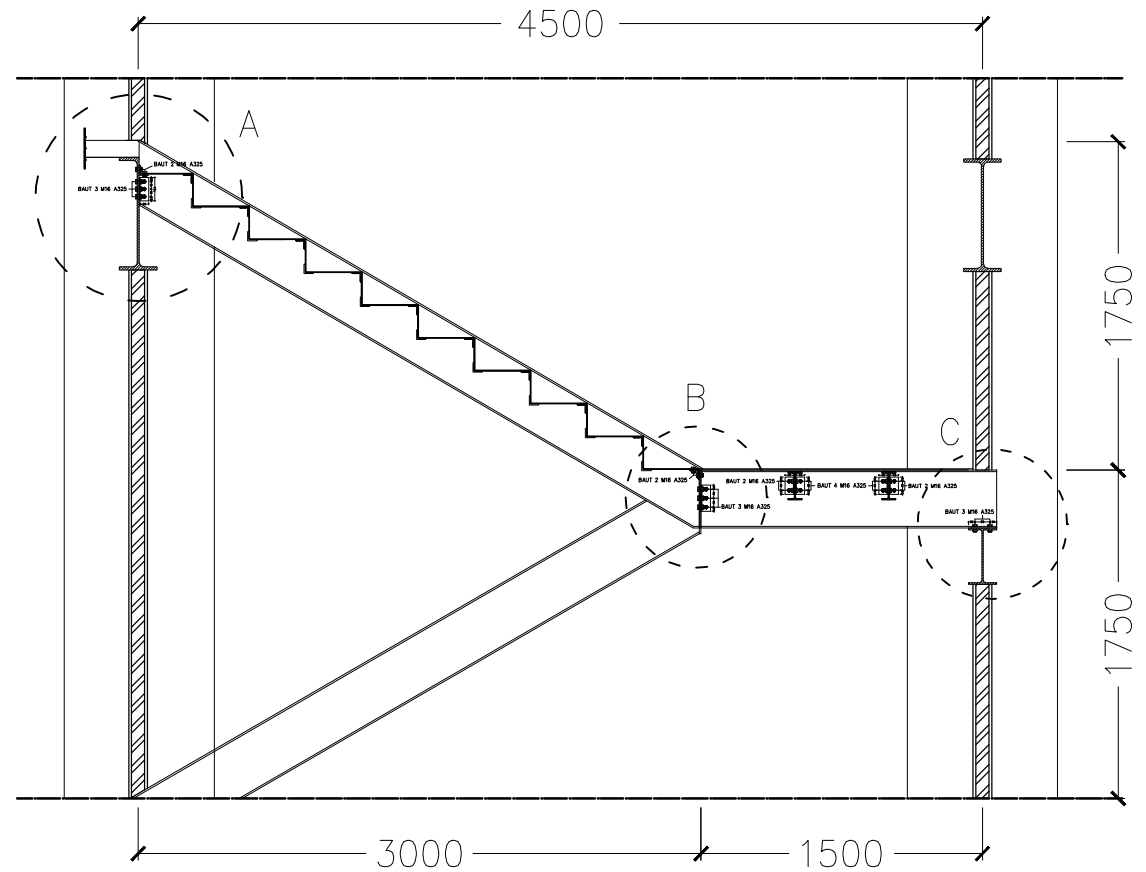
Kode
STR

Dosen Pembimbing TA
1. Dr.techn. Pujo Aji, ST.MT
2. Budi Suswanto, ST.MT.PhD

Nama & Nrp Mahasiswa
Dian Rahmat Hardianto
(3115105039)



DENAH TANGGA
Skala 1:10



POTONGAN A-A
Skala 1:40



FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA 2017

Nama Tugas
Perencanaan Gedung Apartemen
Pavilion Permata Surabaya

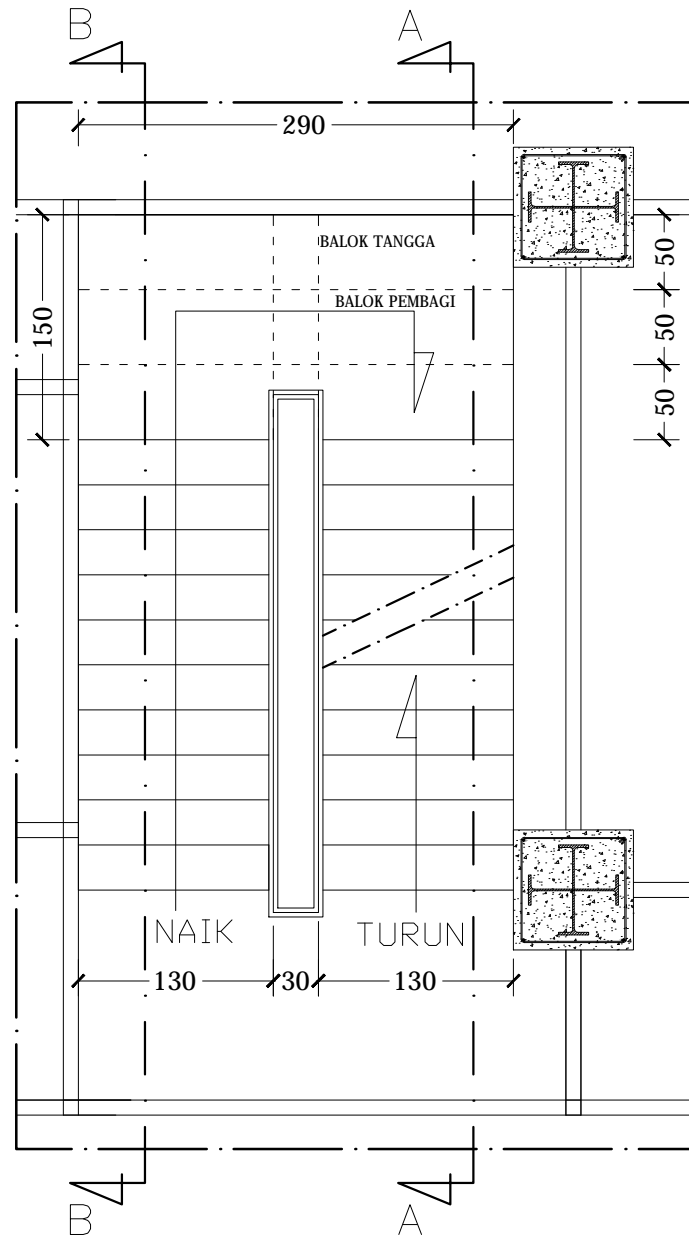
No.Lmbr
18

Jumlah Lmbr
23

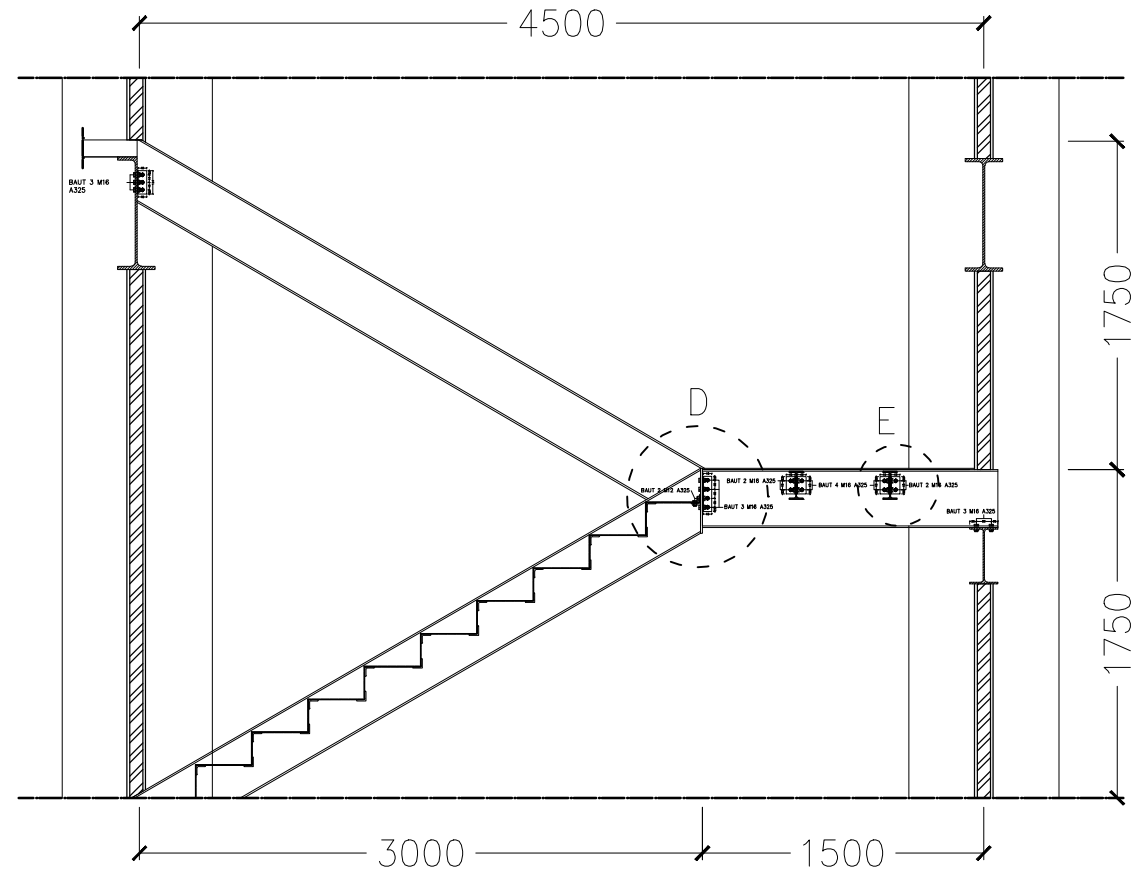
Kode
STR

Dosen Pembimbing TA
1. Dr.techn. Pujo Aji, ST.MT
2. Budi Suswanto, ST.MT.Phd

Nama & Nrp Mahasiswa
Dian Rahmat Hardianto
(3115105039)



DENAH TANGGA
Skala 1:10



POTONGAN B-B
Skala 1:40



FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA 2017

Nama Tugas
Perencanaan Gedung Apartemen
Pavilion Permata Surabaya

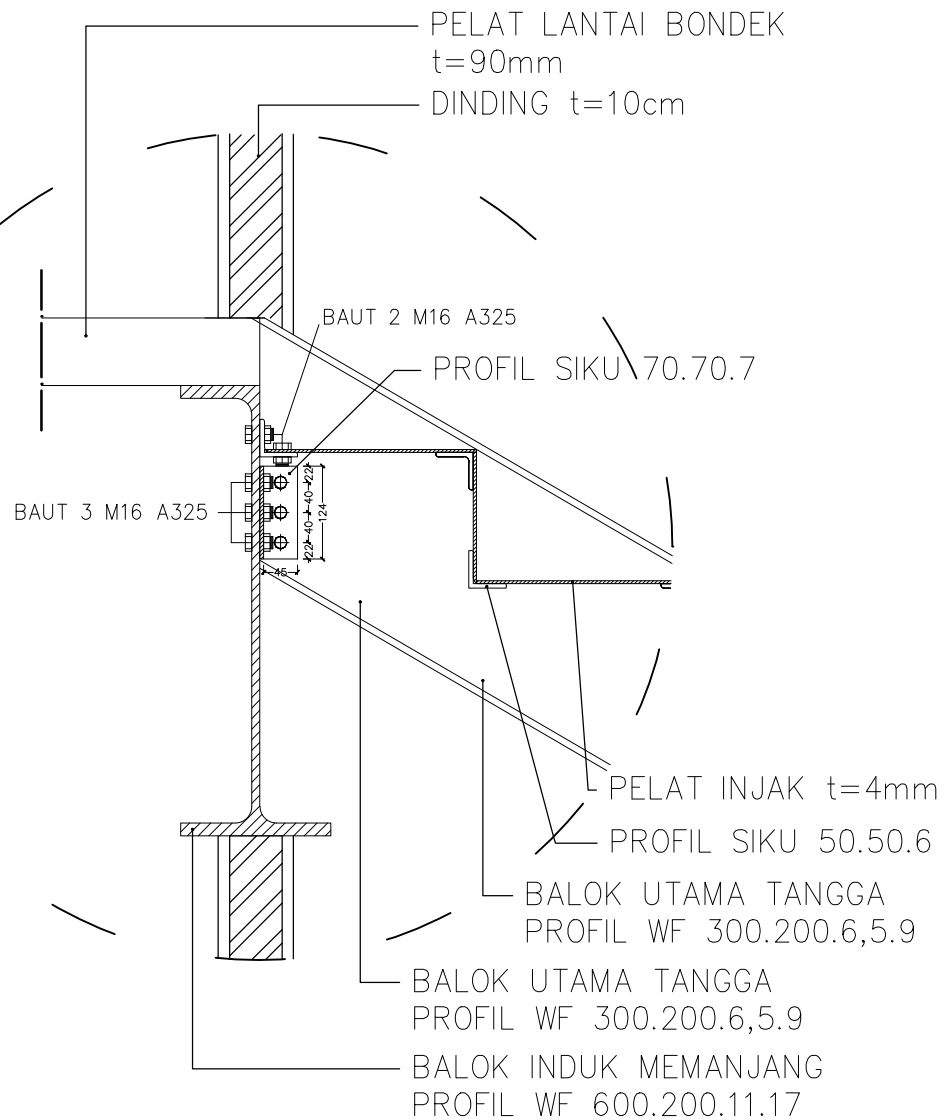
No.Lmbr
19

Jumlah Lmbr
23

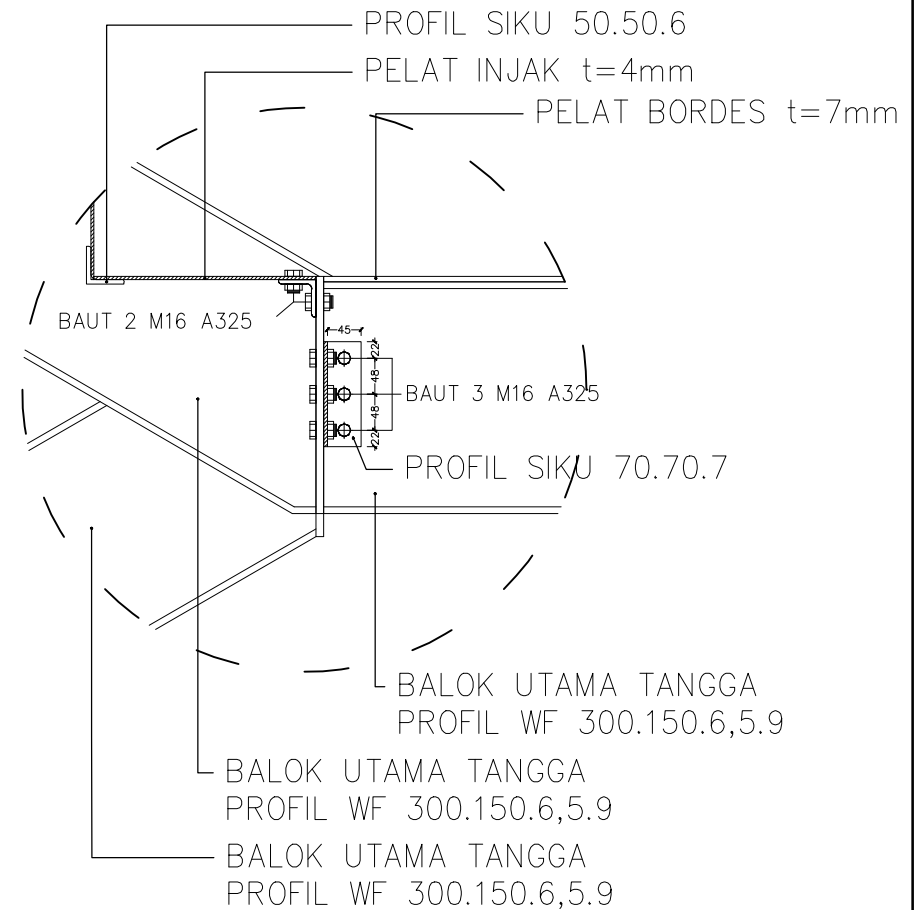
Kode
STR

Dosen Pembimbing TA
1. Dr.techn. Pujo Aji, ST.MT
2. Budi Suswanto, ST.MT.Phd

Nama & Nrp Mahasiswa
Dian Rahmat Hardianto
(3115105039)

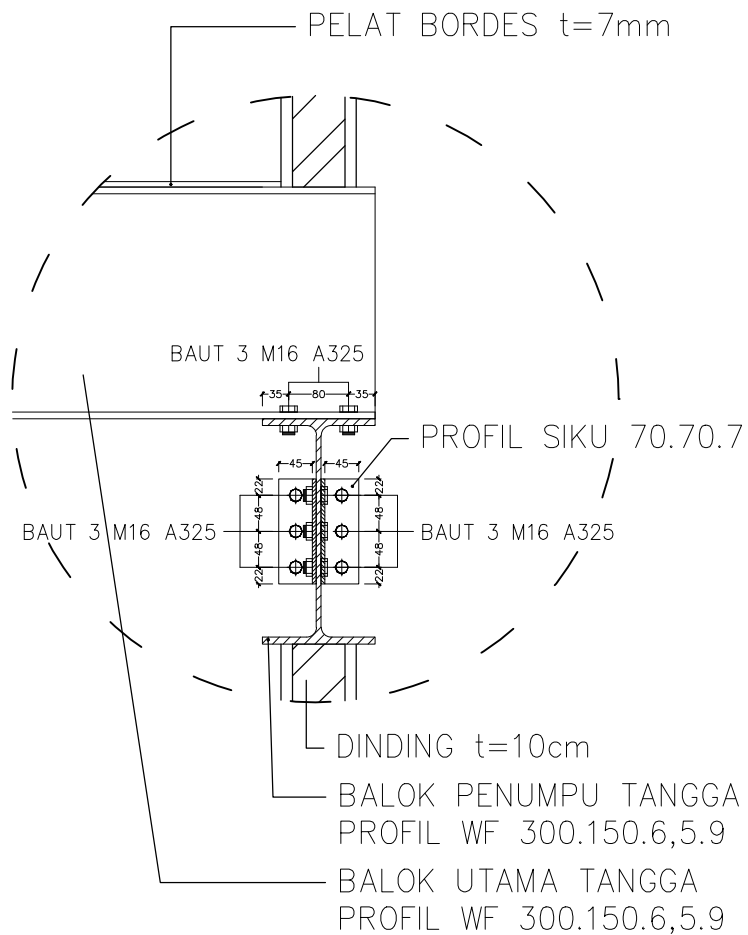


 **DETAIL A**
Skala 1:10

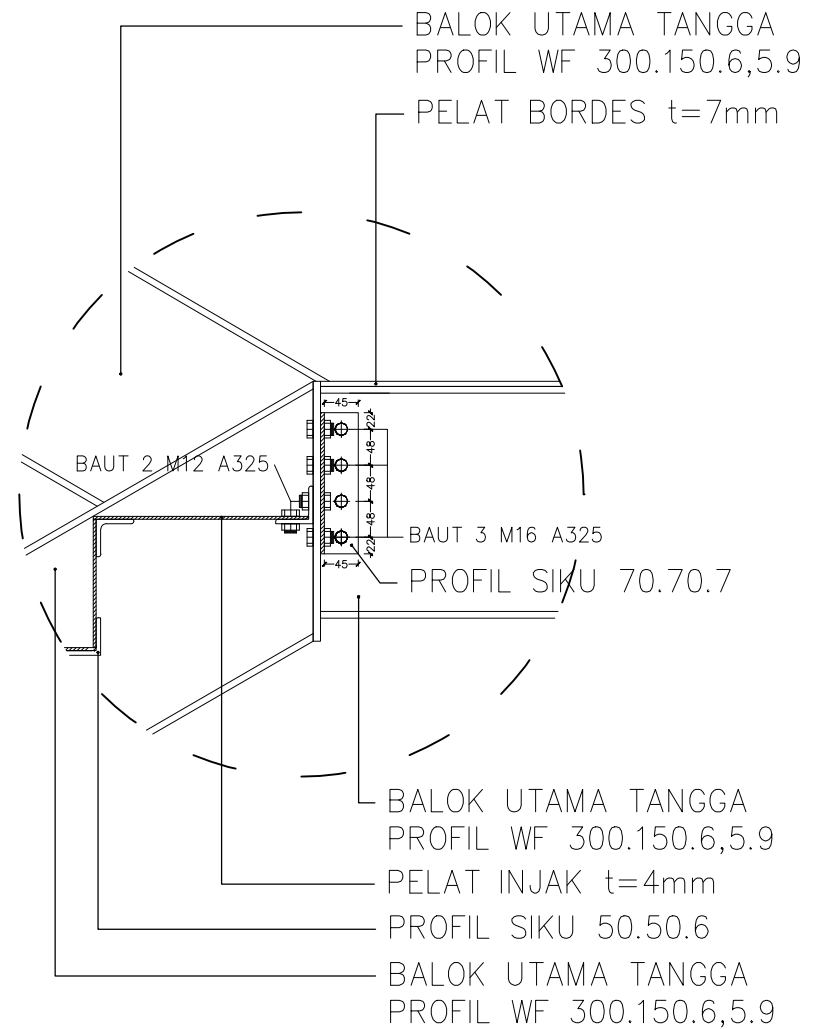


 **DETAIL B**
Skala 1:10



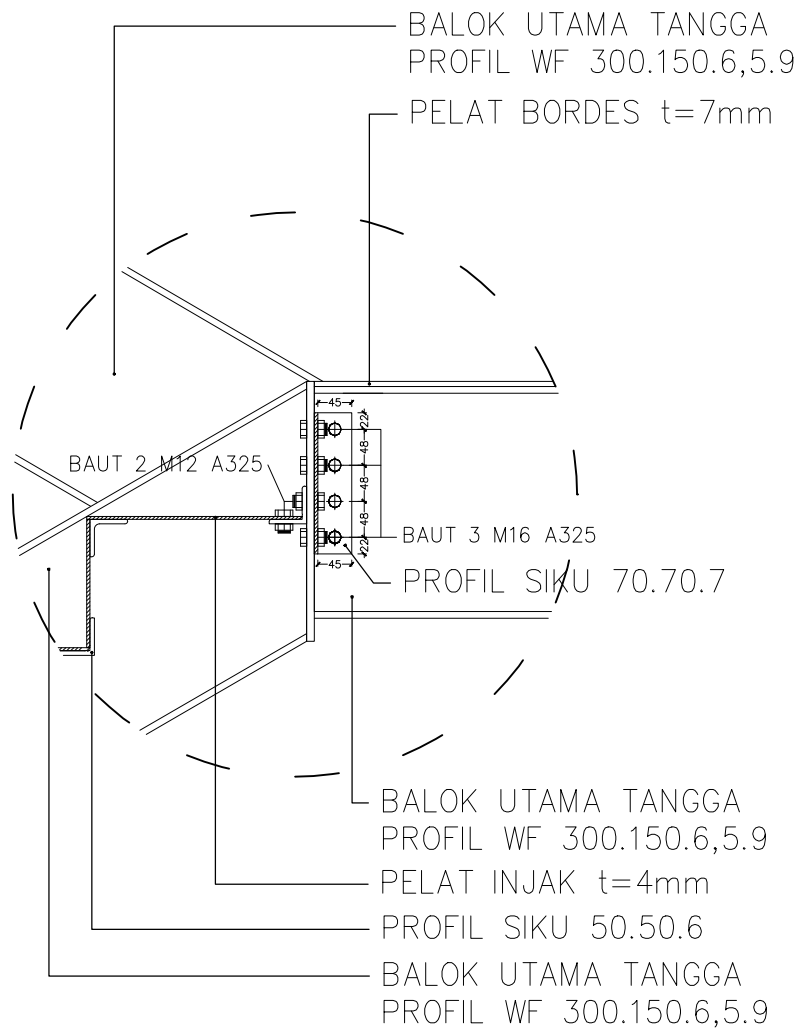


 **DETAIL C**
Skala 1:10



 **DETAIL D**
Skala 1:10





DETAIL D
Skala 1:10



FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA 2017

Nama Tugas

Perencanaan Gedung Apartemen
Pavilion Permata Surabaya

No.Lmbr

22

Jumlah Lmbr

23

Kode

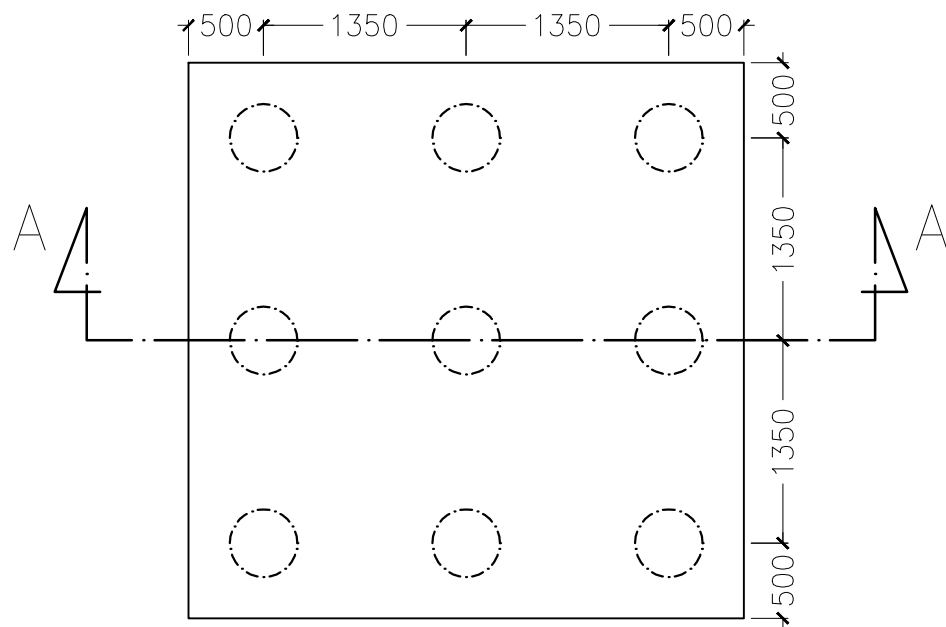
STR

Dosen Pembimbing TA

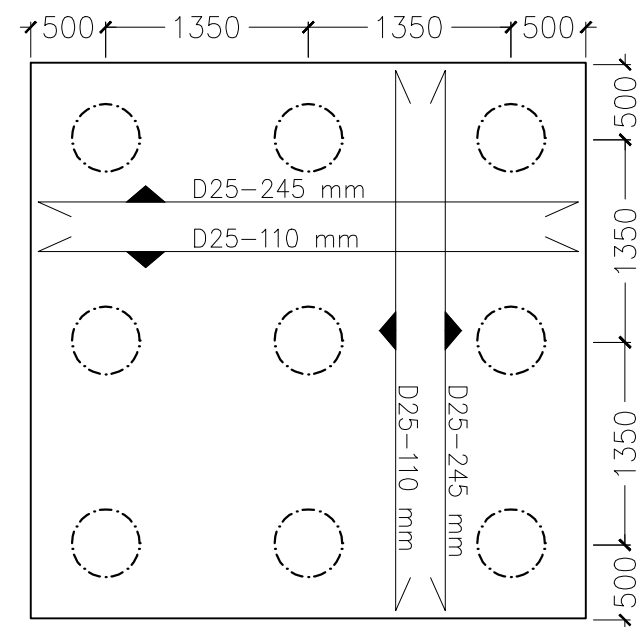
1. Dr.techn. Pujo Aji, ST.MT
2. Budi Suswanto, ST.MT.PhD

Nama & Nrp Mahasiswa

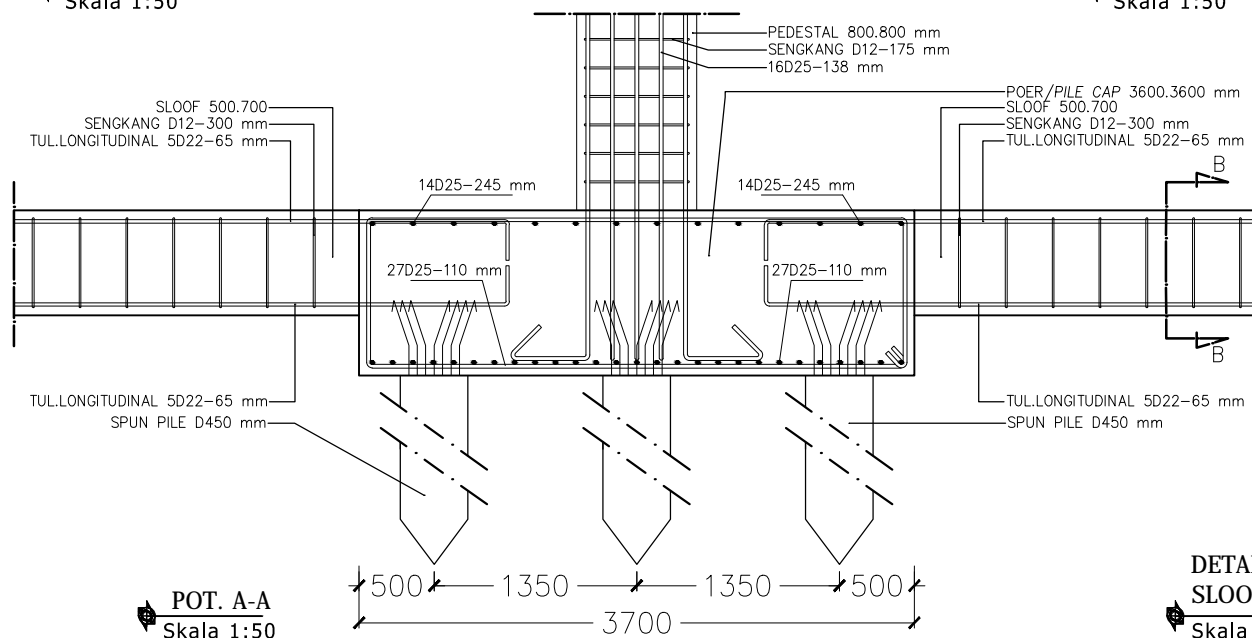
Dian Rahmat Hardianto
(3115105039)



DENAH PONDASI TIANG PANCANG (SPUN PILE)
Skala 1:50

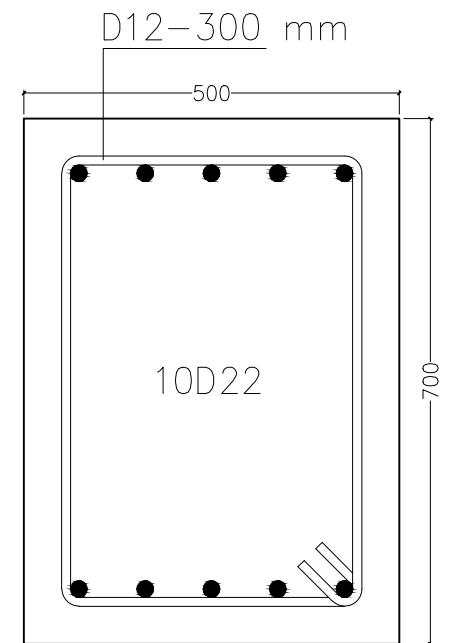


DETAIL PENULANGAN POER (PILE CAP)
Skala 1:50



POT. A-A
Skala 1:50

DETAIL PENULANGAN SLOOF (POT. C-C)
Skala 1:10



Modifikasi Apartemen Pavilion Permata Menggunakan Struktur Komposit Baja Beton

Dian Rahmat Hardianto, Pujo Aji dan Budi Suswanto

Departemen Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil & Perencanaan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)

Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111

E-mail: pujo@ce.its.ac.id dan budi_suswanto@ce.its.ac.id

Abstrak – Apartemen Pavilion Permata terdiri dari 13 lantai dan 1 lantai *basement* menggunakan struktur beton bertulang konvensional. Seperti yang kita ketahui bersama untuk membangun suatu gedung bertingkat membutuhkan waktu yang lama dan juga mahal. Dengan adanya teknologi yang ada saat ini pemilik gedung hanya memilih bahan yang mana lebih cepat penyelesaiannya, ekonomis dan kuat untuk struktur utama gedung tersebut karena semakin tinggi gedung semakin lama pengerjaannya dan mahal. Salah satu alternatif dari sekian banyak material struktur bangunan adalah baja beton komposit. Penggunaan baja komposit di Indonesia sudah semakin banyak karena adanya kelebihan-kelebihan yang dimiliki struktur baja komposit dibandingkan dengan struktur beton konvensional. Ada pun keunggulan lain yang ditinjau dari ketahanan terhadap gempa, yang mana struktur komposit baja-beton berperilaku lebih baik dari beton bertulang konvensional. Sistem penahan gempa pada struktur Apartemen Pavilion Permata ini adalah SRPMK yang mana beban lateral khususnya gempa, ditransfer melalui mekanisme lentur antara balok dan kolom. Hasil dari modifikasi Apartemen Pavilion Permata ini meliputi dimensi profil struktur sekunder, struktur primer, struktur bawah dan desain sambungan.

Kata kunci - Struktur Komposit Baja Beton, Struktur Baja, Resiko Gempa

I. PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

MASYARAKAT Indonesia diprediksi akan beralih menggunakan apartemen sebagai alternatif hunian ataupun tempat tinggal. Hal tersebut dikarenakan semakin sempitnya lahan, lokasi yang strategis serta jangkauan yang lebih mudah jika tinggal di apartemen. Khususnya pada wilayah Surabaya Barat, sektor properti terus tumbuh subur dan berpotensi semakin diminati. Kawasan yang dulu dianggap kurang prospektif kini menunjukkan eksistensinya seiring dengan maraknya pembangunan infrastruktur di daerah tersebut. Pavilion Permata yang berlokasi di Jl. Mayjen Sungkono merupakan salah satu dari sekian banyak apartemen kelas menengah sebagai hunian vertikal bertingkat tinggi yang saat ini mulai banyak bermunculan di Surabaya. Dengan meningkatnya jumlah peminat tersebut sehingga PT. PP Properti sebagai pemilik gedung (Owner) berencana menambah jumlah lantai untuk bangunan atas. Apartemen ini terdiri dari 13 lantai dan 1 lantai *basement*. Seperti yang kita ketahui bersama untuk membangun suatu gedung bertingkat membutuhkan waktu yang lama dan juga mahal. Dengan adanya teknologi yang ada saat ini pemilik

gedung hanya memilih bahan yang mana lebih cepat penyelesaiannya, ekonomis dan kuat untuk struktur utama gedung tersebut karena semakin tinggi gedung semakin lama pengerjaannya dan mahal[8].

Salah satu alternatif dari sekian banyak material struktur bangunan adalah baja beton komposit. Penggunaan baja komposit di Indonesia sudah semakin banyak karena adanya kelebihan-kelebihan yang dimiliki struktur baja komposit dibandingkan dengan struktur beton konvensional. Kelebihan-kelebihan yang nyata dari komposit adalah (1) Penghematan baja, (2) penampang balok baj jadi lebih rendah, (3) kekakuan lantai meningkat, (4) Panjang bentang untuk batang tertentu dapat lebih besar, (5) kapasitas pemikul beban meningkat[1]. Ada pun keunggulan lain yang ditinjau dari ketahanan terhadap gempa, yang mana struktur komposit baja-beton berperilaku lebih baik dari pada beton bertulang biasa[8].

Struktur komposit merupakan perpaduan antara beton dan baja yang memanfaatkan kelebihan keduanya untuk bekerja sama sebagai satu kesatuan. Struktur komposit dalam aplikasinya dapat merupakan elemen dari bangunan, baik dari sebagai balok, kolom, dan pelat. Struktur balok komposit terdiri dari dua tipe yaitu balok komposit dengan penghubung geser dan balok komposit yang diselubungi beton. Sedangkan kolom komposit dapat merupakan tabung atau pipa baja yang dicor beton atau baja profil yang diselubungi beton dengan tulangan longitudinal dan diikat dengan tulangan lateral. Pada struktur pelat komposit digunakan pelat beton yang bagian bawahnya diperkuat dengan dek baja bergelombang[9].

Dalam laporan tugas akhir ini, struktur gedung Pavilion Permata yang semula terdiri dari 13 lantai dan 1 lantai *basement* yang dibangun dengan menggunakan beton bertulang biasa dimodifikasi menggunakan struktur komposit baja-beton 13 lantai dan 1 lantai *basement*.

B. Perumusan Masalah

Permasalahan yang ditinjau dalam modifikasi “Gedung Apartemen Pavilion Permata Menggunakan Struktur Komposit Baja- Beton”

Antara lain :

1. Bagaimana merencanakan *preliminary design* penampang elemen struktur gedung Apartemen Pavilion Permata?
2. Bagaiman merencanakan struktur sekunder yang meliputi plat, balok anak, balok penggantung lift dan tangga?
3. Bagaimana merencanakan struktur primer komposit yang meliputi balok induk dan kolom pada gedung Apartemen Pavilion Permata?
4. Bagaimana memodelkan dan melakukan analisis struktur dengan program bantu SAP 2000?

5. Bagaimana merencanakan pondasi yang sesuai dengan keadaan tanahnya?
6. Bagaimana merencanakan sambungan yang memenuhi kriteria perancangan struktur yaitu kekuatan, kekakuan dan stabilitas struktur?
7. Bagaimana menggambarkan hasil perhitungan dan perencanaan struktur pada bangunan ini kedalam gambar teknik?

C. Batasan Masalah

Pada perencanaan modifikasi ini penulis membatasi masalah meliputi:

1. Tidak memperhitungkan aspek biaya pada pelaksanaan maupun perhitungan struktur dan tidak membahas metode pelaksanaan.
2. Aspek yang meliputi arsitektur, utilitas, mechanical, instalasi listrik, sanitasi, plumbing, finishing bangunan tidak diperhitungkan dalam perencanaan ini.

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Umum

Struktur komposit antara beton dan balok baja merupakan struktur yang memanfaatkan kelebihan dari beton dan baja yang bersama-sama sebagai satu kesatuan. Kelebihan tersebut adalah beton kuat terhadap tekan dan baja kuat terhadap tarik. Balok baja yang menumpu plat beton yang dicor di tempat, sebelumnya didesain berdasarkan asumsi bahwa pelat beton dan baja yang bekerja secara terpisah. Pengaruh komposit dari pelat beton dan baja yang bekerja bersama-sama tidak diperhitungkan. Pengabaian ini berdasarkan asumsi bahwa ikatan antara pelat beton dengan bagian atas balok baja tidak dapat diandalkan. Namun dengan kemajuan penggunaan las, penggunaan penyambung geser mekanis menjadi praktis untuk menahan gaya geser horizontal[9].

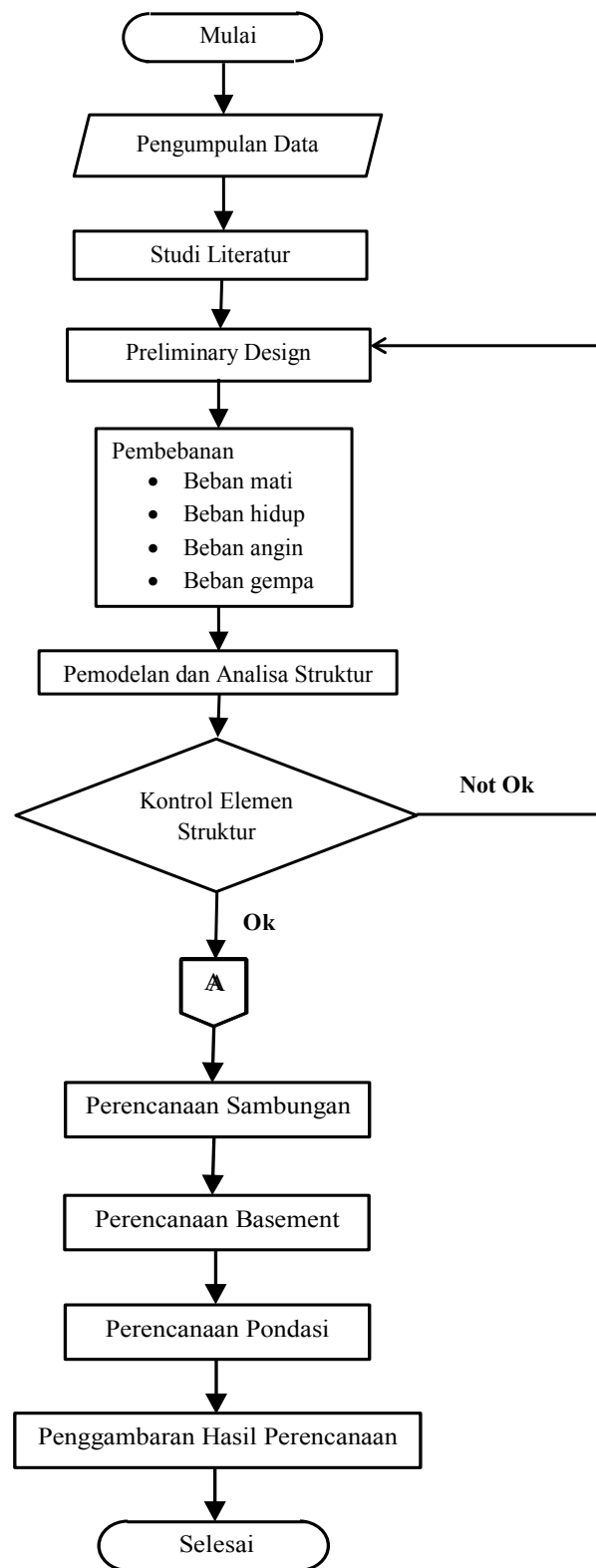
Struktur komposit dalam aplikasinya dapat merupakan elemen dari bangunan, baik sebagai balok, kolom, pelat. Struktur balok komposit terdiri dari dua tipe yaitu balok komposit yang diselubungi beton. Kolom komposit dapat merupakan tabung atau pipa baja yang di cor beton atau bajaprofil yang diselubungi beton dengan tulangan longitudinal dan diikat dengan tulangan lateral. Pada struktur pelat komposit digunakan pelat beton yang bagian bawahnya diperkuat dengan dek baja bergelombang [9].

Karena Struktur komposit melibatkan dua macam material yang berbeda, maka perhitungan kapasitasnya tidak sederhana bila struktur bukan komposit. Karakteristik dan dimensi kedua bahan akan menentukan pemilihan jenis profil dan plat beton yang akan dikomposisikan dan bagaimana kinerja struktur tersebut[3].

III. METODOLOGI

A. Umum

Langkah – langkah pengerjaan proyek akhir ini akan dilakukan seperti diagram alir berikut.



Gambar 3.1 Diagram Alir Metodologi Penyelesaian Tugas Akhir

IV. PERENCANAAN STRUKTUR SEKUNDER

A. Plat Lantai

- Lantai atap (t) = 90 mm
- Lantai 1-12 tipikal (t) = 90 mm

B. Perhitungan Balok Anak

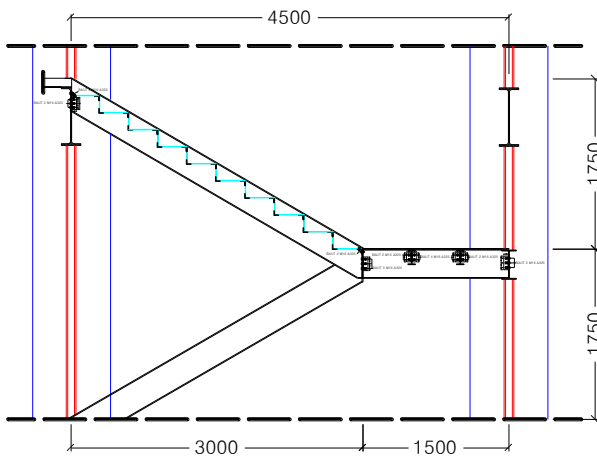
- Lantai atap : WF 400x200x7x11
- Lantai 1-12 : WF 400x200x7x11

C. Perhitungan Balok Penumpu Lift

- Tipe lift : *Passenger Elevators*
- Merek : HYUNDAI
- Kapasitas : 15 Orang / 1000 kg
- Lebar pintu (*opening width*) : 900 mm
- Dimensi ruang luncur (*hoistway inside*) 2 Car : 4200 x 2130 mm²
- Dimensi sangkar (*Car size*)
 - Internal : 1600 x 1500 mm²
 - Eksternal : 1660 x 1655 mm²
- Dimensi ruang mesin (2 Car) : 4400 x 3850 mm²
- Beban reaksi ruang mesin :
 - $R_1 = 5450 \text{ kg}$
 - $R_2 = 4300 \text{ kg}$
- Penumpu WF 400 x 300 x 10 x 16

D. Perencanaan Tangga

- Tinggi antar lantai = 350 cm
- Panjang bordes = 290 cm
- Panjang tangga = 300 cm
- Lebar tangga = 130 cm
- Lebar injakan (i) = 30 cm
- Lebar pegangan tangga = 10 cm
- Tinggi injakan = 17.5 cm

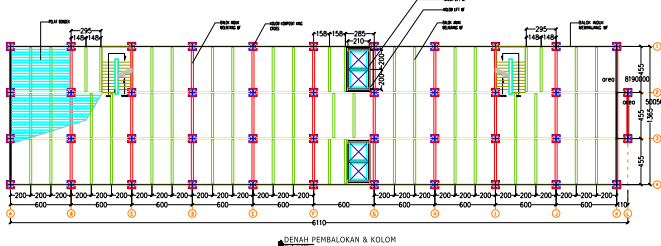


Gambar 4.1 Potongan Melintang Tangga

V. PEMODELAN STRUKTUR

A. Umum

Pemodelan struktur pada tugas akhir ini menggunakan sistem rangka baja dan beton komposit pemikul momen khusus (SRPMK). Struktur rangka pemikul momen khusus sebagai penahan gaya lateral yang terjadi akibat gempa. Struktur yang direncanakan adalah bangunan apartemen yang terdiri dari 13 lantai dan 1 *basement* dengan total tinggi struktur 45 m. Pemodelan gedung berlokasi di Surabaya. Denah dari struktur yang ada dalam pemodelan tugas akhir penulis adalah sebagai berikut:



Gambar 5.1 Denah Struktur Apartemen Pavilion Permata

B. Pembebanan

Rincian pembebanan untuk beban mati adalah sebagai berikut:

- a. Pelat atap $q_D = 57 \text{ kg/m}^2$
- b. Pelat lantai hotel $q_D = 88 \text{ kg/m}^2$

Rincian pembebanan untuk beban hidup adalah sebagai berikut :

- a. Lantai atap = 100 kg/m²
- b. Lantai hotel & perkantoran = 250 kg/m²

C. Kombinasi Pembebanan

Kombinasi pembebanan yang dipakai pada struktur gedung ini mengacu pada SNI 1726:2012

- 1.4 D
- 1.2 D + 1.6 L +(Lr atau R)
- 1.2 D + 1.6 (Lr atau 0.5W)
- 1.2 D + 1.0 W + L+0.5 (Lr atau R)
- 1.2 D +1.0 E + L
- 0.9 D + 1.0 W
- 0.9 D + 1.0 E

Keterangan :

D : beban mati

L : beban hidup lantai apartemen

E : beban gempa yang dinyatakan dalam 2 arah

D. Kontrol Desain

1) Kontrol Penerimaan Pemodelan

Untuk membuktikan hasil pemodelan struktur sesuai dengan kenyataan aslinya, perlu dilakukan pengecekan dengan perhitungan manual, dengan meninjau satu kolom, dengan kombinasi D+L, hasil dari analisa SAP 2000 v18 harus sesuai dengan perhitungan manual dengan batasan perbedaan 5 %, dari hasil perhitungan didapat perbedaan sebesar 4% maka pemodelan dapat di terima

2) Kontrol Partisipasi Massa

Menurut SNI 1726 ps 7.9.1, bahwa perhitungan respon dinamik struktur harus sedemikian rupa sehingga partisipasi massa ragam terkombinasi paling sedikit sebesar 90% dari massa aktual dari masing-masing arah

Dari analisa SAP 2000v18 didapat partisipasi massa arah X sebesar 90% pada moda ke 6 dan partisipasi massa arah Y sebesar 93% pada moda ke 7. Maka dapat disimpulkan analisis struktur yang sudah dilakukan telah memenuhi syarat yang terdapat pada SNI-03-1726-2012 pasal 7.9.1 yaitu partisipasi massa ragam terkombinasi paling sedikit sebesar 90%.

3) Kontrol Waktu Getar Alami Fundamental

Untuk mencegah penggunaan struktur gedung yang terlalu fleksibel, nilai waktu getar alami fundamental (T) dari struktur gedung harus dibatasi.

Dari hasil analisis SAP 2000 v14 periode dan frekuensi struktur didapat $T = 1.324 \text{ s} < C_u \cdot T = 1,4 \cdot 1.522 = 2.130 \text{ s}$

Maka struktur apartemen Pavilion Permata masih memenuhi syarat SNI 03-1726-2012 Pasal 7.8.2.

4) Kontrol Nilai Akhir Respon Spektrum

Dari hasil analisis menggunakan program SAP 2000 v18 didapatkan nilai gaya geser dasar (base shear) sebagai berikut:

Tabel 5.1 Gaya Geser Dasar Akibat Beban Gempa

OutputCase	GlobalFX	GlobalFY
Text	Kgf	Kgf
RS-X	406242.82	103478
RS-Y	123123.86	340320.52

Kontrol :

- Untuk Gempa Arah X :
 $V_{dinamik} \geq 85\% \cdot V_{statik}$
 $406242.82 \text{ kg} \geq 85\% \cdot 1053255.55 \text{ kg}$
 $406242.82 \text{ kg} < 895267 \text{ kg}$ (Not Ok)
- Untuk Gempa Arah Y :
 $V_{dinamik} \geq 85\% \cdot V_{statik}$
 $340320.52 \text{ kg} \geq 85\% \cdot 1053255.55 \text{ kg}$
 $340320.52 \text{ kg} < 895267 \text{ kg}$ (Not Ok)

Dari kontrol diatas, analisa struktur Apartemen Pavilion Permata masih belum memenuhi syarat nilai akhir respon. Pada pasal 11.14 SNI 1726:2012 pasal 7.9.4.2 dijelaskan apabila gaya geser dasar hasil analisis kurang dari 85%, maka harus diperbesar dengan faktor skala $0.85 \frac{C_s \cdot W}{V}$.

- Untuk Gempa Arah X :
 $0.85 \cdot \frac{0.040 \times 26580581.59}{406242.82} = 2.204$
- Untuk Gempa Arah X :
 $0.85 \cdot \frac{0.040 \times 26580581.59}{340320.52} = 2.631$

5) Kontrol Batas Simpangan Antar Lantai

Pembatasan simpangan antar lantai suatu struktur bertujuan untuk mencegah kerusakan non-struktur dan ketidaknyamanan penghuni.

Tabel 5.2 Kontrol Simpangan Akibat Gempa

Lantai	Elevasi (m)	Tinggi Lantai (m)	Simpangan (mm)	Cd	Simpangan diperbesar (mm)	Simpangan antar lantai (mm)	Simpangan ijin antar	ket
i	hi	hxi	δe		δ δe · Cd	Δ	Δa 0.02 · hxi	
atap	45	3.5	1.102	5.5	6.063	3.86	70	Ok
12	41.5	3.5	1.805	5.5	9.925	3.76	70	Ok
11	38	3.5	2.488	5.5	13.686	3.62	70	Ok
10	34.5	3.5	3.147	5.5	17.307	3.47	70	Ok
9	31	3.5	3.777	5.5	20.774	3.30	70	Ok
8	27.5	3.5	4.377	5.5	24.075	3.11	70	Ok
7	24	3.5	4.944	5.5	27.190	2.90	70	Ok
6	20.5	3.5	5.472	5.5	30.094	2.66	70	Ok
5	17	3.5	5.955	5.5	32.751	2.36	70	Ok
4	13.5	3.5	6.384	5.5	35.112	2.00	70	Ok
3	10	3.5	6.748	5.5	37.115	1.60	70	Ok
2	6.5	3.5	7.039	5.5	38.714	36.43	70	Ok
1	3	3.0	0.416	5.5	2.287	2.29	60	Ok
B1	0	0	0	0	0	0.00	0	Ok

VI. PERENCANAAN STRUKTUR PRIMER

A. Balok Induk

Balok Induk direncanakan menggunakan profil WF 600x200x11x17. Dari output SAP 2000 v18 diperoleh gaya dalam yang dipakai dalam desain adalah:

$$\begin{aligned} M_u &= 12155.9 \text{ kgm} < \phi M_n = 97752 \text{ kgcm} \\ V_u &= 7270.57 \text{ kg} \leq \phi V_n = 99000 \text{ kg} \\ f' &= 0.428 \text{ cm} \leq f_{ijin} = 1.667 \text{ cm} \end{aligned}$$

B. Kolom Komposit :

Kolom direncanakan menggunakan KC 588x300x12x20 yang diselimuti beton 75x75 cm dengan kontrol kuat nominal penampang sebagai berikut:

Rumus Interaksi:

$$\frac{P_{no}}{P_e} = \frac{26039985}{384296479.379}$$

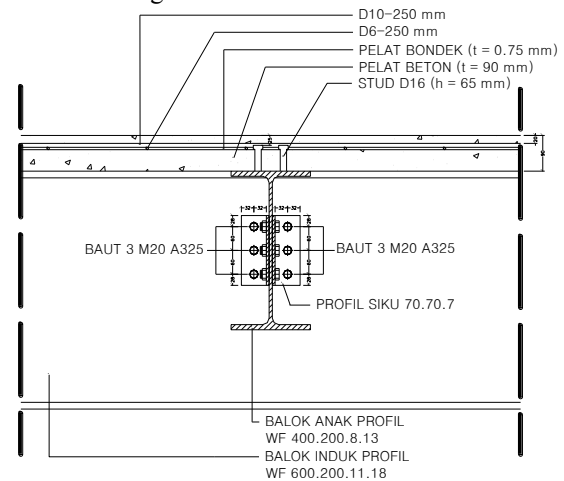
$$= 0.068 \leq 2.25 \rightarrow P_n = P_{no} \left[0.658 \frac{P_{no}}{P_e} \right] \quad (\text{SNI 1729:2015 Pasal I2.1b})$$

$$\begin{aligned} P_n &= P_{no} \left[0.658 \frac{P_{no}}{P_e} \right] \\ &= 26039985 \left[0.658 \left(\frac{26039985}{384296479.379} \right) \right] \\ &= 25311838.451 \text{ N} \quad (\text{SNI 1729:2015 Pasal I2.1b}) \\ \phi_c P_n &= 0.75 \times 25311838.451 \\ &= 18983878.823 \text{ N} \quad (\text{SNI 1729:2015 Pasal I2.1b}) \\ P_u &< \phi_c P_n \quad (\text{SNI 1729:2015 Pasal I2.1b}) \\ 71534301.83 \text{ N} &< 18983878.823 \text{ N} \quad (\text{Ok}) \end{aligned}$$

VII. PERENCANAAN SAMBUNGAN

A. Sambungan Balok Anak dengan Balok induk

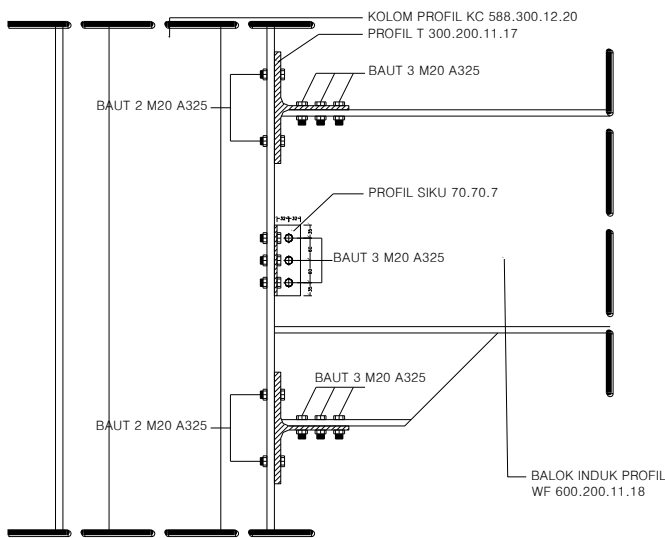
Profil balok anak menggunakan WF 400x200x7x11 akan disambungkan dengan balok induk profil WF 600x200x11x17 dengan menggunakan sambungan *simple connection* karena balok anak diasumsikan menggunakan tumpuan jepit. Sambungan menggunakan baut dan pelat siku 70x70x7 dengan mutu BJ 50.



Gambar 7.1 Sambungan Balok Anak dengan Balok Induk

B. Sambungan Balok Induk Dengan Kolom

Profil balok induk menggunakan WF 400x200x7x11 akan disambungkan dengan balok induk profil WF 600x200x11x17 dengan menggunakan sambungan kaku (*rigid connection*) karena balok anak diasumsikan menggunakan tumpuan jepit sempurna. Sambungan menggunakan baut, untuk sambungan web balok akan menggunakan pelat siku 70x70x7 dan sambungan pada flens balok menggunakan profil T untuk menambah lengan kopel dengan mutu BJ 50.

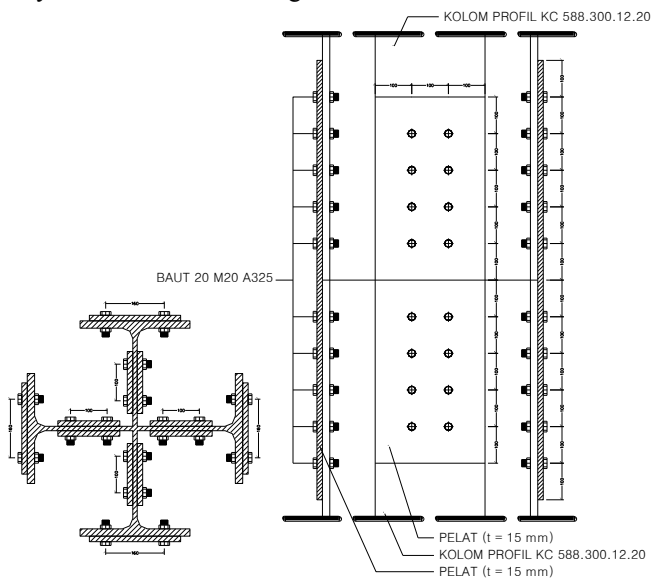


Gambar 7.2 Sambungan Balok Induk dengan Kolom

C. Sambungan Antar Kolom

Sambungan kolom yang direncanakan pada lantai 1 – 13 tipikal menggunakan sambungan baut, baut menggunakan tipe A325 (tanpa ulir pada bidang geser) dan pelat penyambung direncanakan tebal 15 mm BJ 50. Berdasarkan hasil analisis menggunakan SAP 2000 diperoleh gaya dalam sebagai berikut:

Kolom	: KC 588×300×12×20
Pu	: 658526.17 kg
Mux	: 52954.62 kgm
Muy	: 11117.79 kgm
Vux	: 11426.75 kgm
Vuy	: 26055.86 kg



Gambar 7.3 Sambungan Antar Kolom

VIII. PERENCANAAN PONDASI

A. Daya Dukung Tiang Pancang Berdasarkan Bahan

Pondasi pada gedung apartemen ini direncanakan memakai pondasi tiang pancang beton (*Concrete Pile*) dengan penampang bulat berongga (*Round Hollow*) dari produk PT. WIKA Beton. Spesifikasi tiang pancang yang akan digunakan adalah sebagai berikut:

- Diameter tiang : 450 mm
- Tebal tiang : 80 mm
- Klasifikasi : A3

- Concrete cross section : 930 cm²
- Berat : 232 kg/m
- Bending moment crack : 10 ton.m
- Bending moment ultimate : 15 ton.m
- Allowable axial load : 143.80 ton

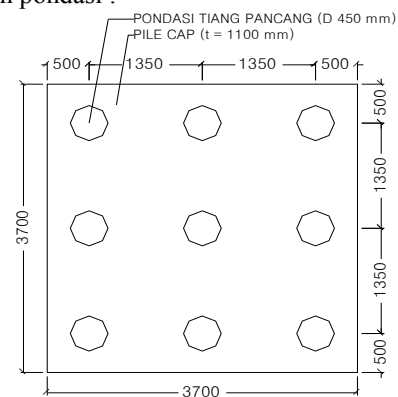
B. Daya Dukung Tiang Pancang Berdasarkan Tanah

Perhitungan daya dukung tiang pancang ini dilakukan berdasarkan hasil uji *Standard Penetration Test* (SPT) dengan kedalaman 30 m menggunakan metode *Luciano Decort*

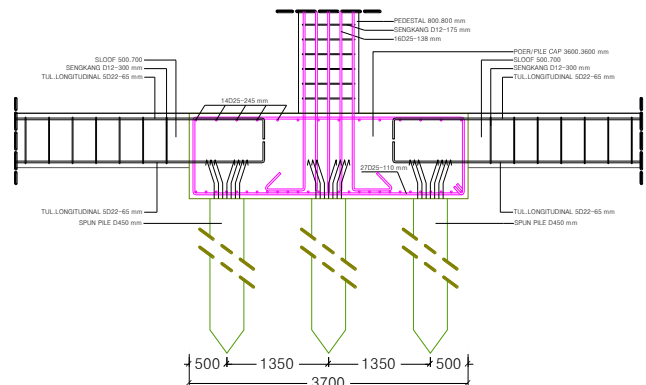
$$P_{ijin \text{ 1 tiang}} = \frac{Q_u}{SF} = \frac{350 + 85.88}{3} = 145.58 \text{ t}$$

C. Perencanaan Pondasi

Direncanakan pondasi tiang dengan 6 tiang pancang. Jarak dari as ke as tiang adalah 135 cm dan jarak as ke tepi adalah 50 cm dengan ketebalan poer = 110cm, berikut hasil perencanaan pondasi :



Gambar 8.1 Pondasi Tiang Pancang



Gambar 8.2 Potongan Melintang Pondasi

D. Perencanaan Kolom Pedestal

Besarnya gaya – gaya dalam kolom diperoleh dari hasil analisis SAP 2000 V18 pada pada kolom lantai 1, adalah :

Pu	= 753148.58 kg
Mu	= 38583.87 kgm
Vu	= 21078.52 kg

Data perencanaan kolom :

b	= 800 mm
h	= 800 mm

Mutu bahan :

f'c = 30 Mpa

fy = 410 Mpa

Selimit beton = 50 mm

Tulangan sengkang = D12-300 mm

Tulangan utama = 16D25

Penulangan Lentur pada Kolom

Dari PCACOL didapat nilai $\rho = 0.0127$

E. Perencanaan Sloof

Dimensi sloof : $b = 500 \text{ mm}$
 $h = 700 \text{ mm}$
 $A_g = 350000 \text{ mm}^2$
 Mutu bahan : $f'_c = 30 \text{ MPa}$
 $f_y = 410 \text{ MPa}$
 Selimut beton $= 50 \text{ mm}$
 $P_u = 604126.17 \text{ kg}$
 $= 6041261.7 \text{ N}$

$$P_u = 10\% P_{u \text{ kolom}}$$

$$= 10\% \times 6041261.7$$

$$= 604126.17 \text{ N}$$

$$V_u = 15624 \text{ kg} = 153219.099 \text{ N}$$

Dari perhitungan :

$$\rho = 1.106\%$$

Dipasang Tulangan 10D22 ($A_s = 339.292 \text{ mm}^2$)

Dari hasil perhitungan $V_u > \phi V_c \rightarrow$ tidak perlu tulangan geser jadi dipasang tulangan geser $\phi 12 - 300$

IX. KESIMPULAN

Dari hasil analisa dan perhitungan pada tugas akhir ini, dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Perencanaan struktur meliputi perencanaan pelat, tangga, balok anak, lift dengan beban mati maupun beban hidup.
2. Kontrol terhadap balok induk dilakukan pada dua kondisi yaitu sebelum komposit dan setelah komposit.
3. Kontrol yang dilakukan meliputi kontrol lendutan, kontrol tekuk lokal, kontrol tekuk lateral, dan kontrol geser.
4. Kontrol terhadap kolom meliputi kontrol aksial, kontrol lentur, dan kontrol kombinasi aksial dan lentur.
5. Rigid Connection dilakukan pada sambungan balok dan kolom sedangkan Simple Connection dilakukan pada sambungan balok induk dengan balok anak.
6. Dimensi struktur yang digunakan adalah sebagai berikut:
 - Tebal pelat:
Pelat atap : 9 cm
Pelat lantai : 9 cm
 - Dimensi kolom:
Selubung beton : $75 \times 75 \text{ cm}$
Profil : KC 588 \times 300 \times 12 \times 20
 - Dimensi balok induk : WF 600 \times 200 \times 11 \times 17
 - Dimensi balok anak :
Atap : WF 400 \times 200 \times 7 \times 11
Lantai : WF 400 \times 200 \times 7 \times 11
 - Profil balok tangga :
Utama : WF 300 \times 150 \times 6.5 \times 9
Penumpu : WF 200 \times 100 \times 5.5 \times 8
 - Profil balok lift : WF 400 \times 300 \times 10 \times 16
7. Hasil perhitungan struktur bawah didapatkan dimensi pedestal 800 \times 800 mm (tulangan utama 16D25, tulangan geser D12-300 mm, dimensi sloof adalah 500 \times 700 mm (tulangan lentur 10D12, tulangan geser D12-300 mm, pondasi menggunakan pondasi tiang pancang dari produk PT WIKA Beton D 45 cm dengan kedalaman 30 m dan dinding penahan tanah

(*basement*) menggunakan jenis *FLAT CONCRETE SHEET PILE Type FRC-320 Class A*.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Salmon, Charles G., dan John E. Johnson. 1991. Struktur Baja : Desain dan Perilaku Jilid 2. Jakarta : Erlangga.
- [2] Setiawan, Agus. 2008. Perencanaan Struktur Baja Dengan Metode LRFD (berdasarkan SNI 03-1729-2002). Jakarta : Erlangga.
- [3] Suprobo, Priyo. 2000. Desain Balok Komposit Baja Beton. Surabaya : Jurusan Teknik Sipil FTSP ITS.
- [4] Standar SNI 03-1729-2012., "Standar Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Bangunan Gedung" Badan Standarisasi Nasional, 2012.
- [5] Standar SNI 1729:2015., "Standar Perencanaan Struktur Baja Untuk Bangunan Gedung" Badan Standarisasi Nasional, 2015.
- [6] Standar SNI 2847:2013., "Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung" Badan Standarisasi Nasional, 2013.
- [7] Standar SNI 1727:2013., "Beban Minimum Untuk Perancangan Bangunan Gedung dan Struktur Lain" Badan Standarisasi Nasional, 2013.
- [8] Tedia Anamika., Maru Savita. 2014. *Cost, Analysis and Design of Steel-Concrete Composite Structure Rcc Structure*. Journal of Mechanical and Civil Engineering Volume 11, Issue 1 Ver.II
- [9] Widiarsa, Ida Bagus Rai., dan Putu Deskarta. 2007. Kuat Geser Baja Komposit Dengan Variasi Tinggi Penghubung Geser Tipe- T Ditinjau dari Uji Geser Murni. Jurnal Ilmiah Teknik Sipil Vol. 11, No 1.

MODIFIKASI APARTEMEN PAVILION PERMATA MENGGUNAKAN STRUKTUR KOMPOSIT BAJA BETON



Oleh :

Dian Rahmat Hardianto
(3115105039)

Dosen Pembimbing :

Dr. techn. Pujo Aji, ST. MT
Budi Suswanto, ST. MT. PhD

S1 LINTAS JALUR JURUSAN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2017

BAB I

PENDAHULUAN



LATAR BELAKANG

- Gedung Pavilion Permata yang berlokasi di Jl. Mayjen Sungkono merupakan salah satu dari sekian banyak apartemen kelas menengah sebagai hunian vertikal bertingkat tinggi di Surabaya. Apartemen ini terdiri dari 13 lantai dan 1 lantai *basement* menggunakan struktur beton bertulang.
- Seperti yang kita ketahui bersama untuk membangun suatu gedung bertingkat membutuhkan waktu yang lama dan juga mahal. Dengan adanya teknologi yang ada saat ini pemilik gedung hanya memilih bahan yang mana lebih cepat penyelesaiannya, ekonomis dan kuat untuk struktur utama gedung tersebut karena semakin tinggi gedung semakin lama pengerjaannya dan mahal.
- Ada pun keunggulan lain yang ditinjau dari ketahanan terhadap gempa, yang mana struktur komposit baja-beton berperilaku lebih baik dari pada beton bertulang biasa (*Tedia dan Maru, 2014*).
- Alternatif desain gedung yang digunakan adalah baja beton komposit.



PERUMUSAN MASALAH

- Bagaimana merencanakan *preliminary design* penampang elemen struktur gedung Apartemen Pavilion Permata?
- Bagaimana merencanakan struktur sekunder yang meliputi plat, balok anak, balok penggantung lift dan tangga?
- Bagaimana merencanakan struktur primer komposit yang meliputi balok induk dan kolom pada gedung Apartemen Pavilion Permata?
- Bagaimana memodelkan dan melakukan analisis struktur dengan program bantu SAP 2000?
- Bagaimana merencanakan pondasi yang sesuai dengan keadaan tanahnya?
- Bagaimana merencanakan sambungan yang memenuhi kriteria perancangan struktur yaitu kekuatan, kekakuan dan stabilitas struktur?
- Bagaimana menggambarkan hasil perhitungan dan perencanaan struktur pada bangunan ini kedalam gambar teknik?



MAKSUD DAN TUJUAN

- Merencanakan *preliminary design* penampang elemen struktur gedung Apartemen Pavilion Permata.
- Merencanakan struktur sekunder yang meliputi plat, balok anak, balok penggantung lift dan tangga.
- Merencanakan struktur primer komposit yang meliputi balok induk dan kolom pada gedung Apartemen Pavilion Permata.
- Memodelkan dan melakukan analisis struktur dengan program bantu SAP 2000.
- Merencanakan pondasi yang sesuai dengan keadaan tanahnya.
- Merencanakan sambungan yang memenuhi kriteria perancangan struktur yaitu kekuatan, kekakuan dan stabilitas struktur.
- menggambarkan hasil perhitungan dan perencanaan struktur pada bangunan ini kedalam gambar teknik.



BATASAN MASALAH

- Tidak memperhitungkan aspek biaya pada pelaksanaan maupun perhitungan struktur dan tidak membahas metode pelaksanaan.
- Aspek yang meliputi arsitektur, utilitas, mechanical, instalasi listrik, sanitasi, plumbing, finishing bangunan tidak diperhitungkan dalam perencanaan ini.



MANFAAT PERENCANAAN

- Dapat merencanakan struktur baja komposit yang memenuhi keamanan struktur.
- Dari perencanaan ini dapat diketahui hal hal yang harus diperhatikan pada saat perencanaan struktur bangunan baja komposit sehingga kegagalan struktur bisa dihindari.



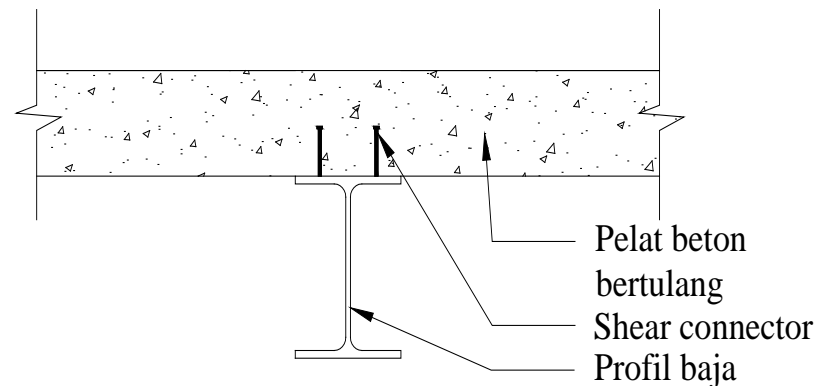
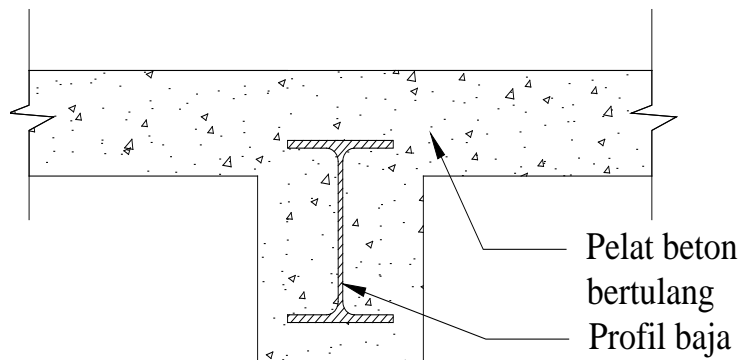
BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

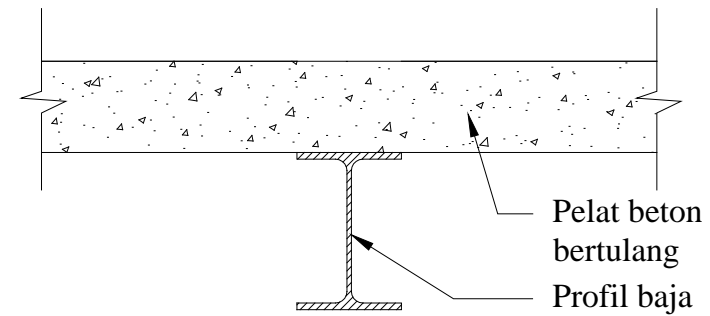
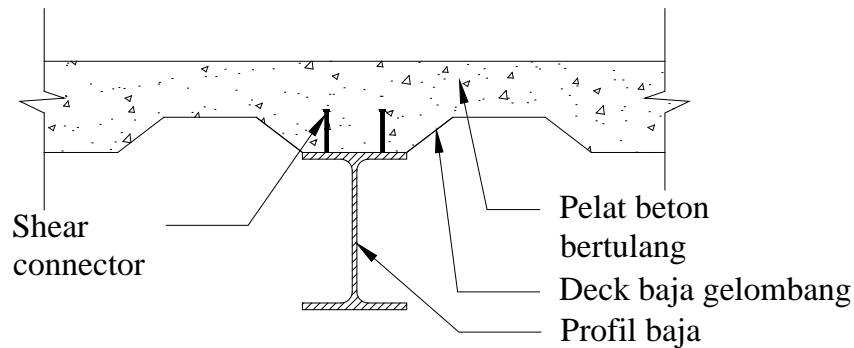


TINJAUAN PUSTAKA

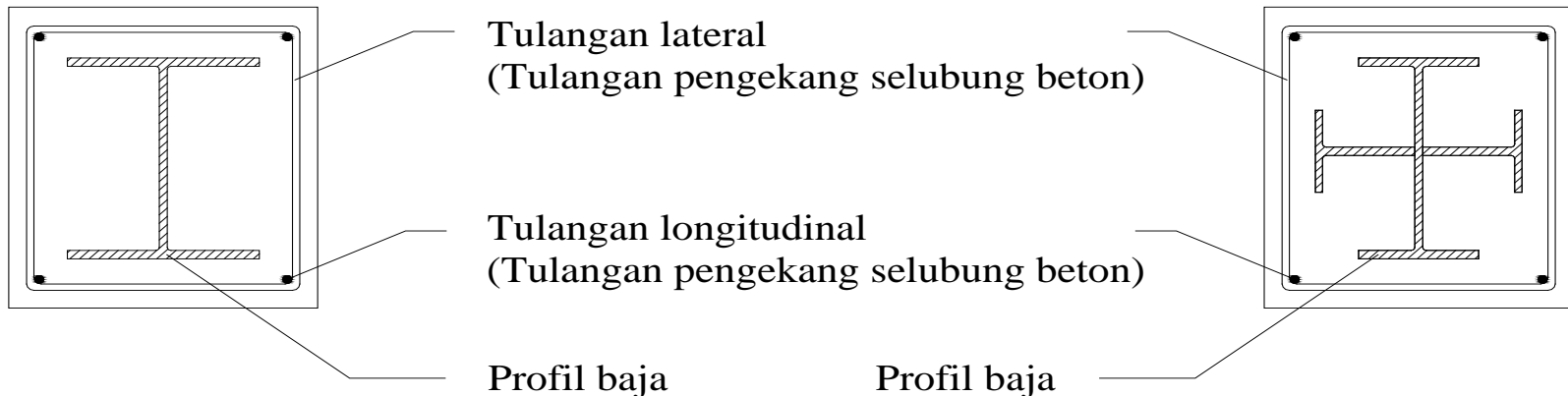
- Struktur komposit antara beton dan balok baja merupakan struktur yang memanfaatkan kelebihan dari beton dan baja yang bekerja bersama-sama sebagai satu kesatuan.
- Elemen-elemen struktur komposit :
 - Balok komposit
 - Kolom komposit
 - Pelat komposit
- Balok komposit terdiri dari dua tipe yaitu balok komposit dengan penghubung geser dan balok komposit yang diselimuti beton



TINJAUAN PUSTAKA

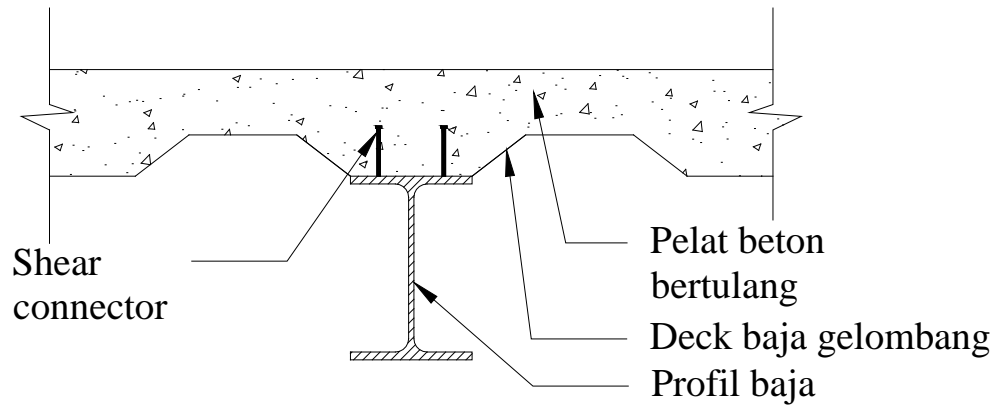


- Struktur komposit antara beton dan balok baja merupakan struktur yang memanfaatkan kelebihan dari beton dan baja yang bekerja bersama-sama sebagai satu kesatuan.
- Elemen-elemen struktur komposit :
 - Balok komposit
 - Kolom komposit
 - Pelat komposit
- Balok komposit terdiri dari dua tipe yaitu balok komposit dengan penghubung geser dan balok komposit yang diselimuti beton



TINJAUAN PUSTAKA

- Pada struktur pelat komposit digunakan pelat beton yang bagian bawahnya diperkuat dengan dek baja bergelombang.

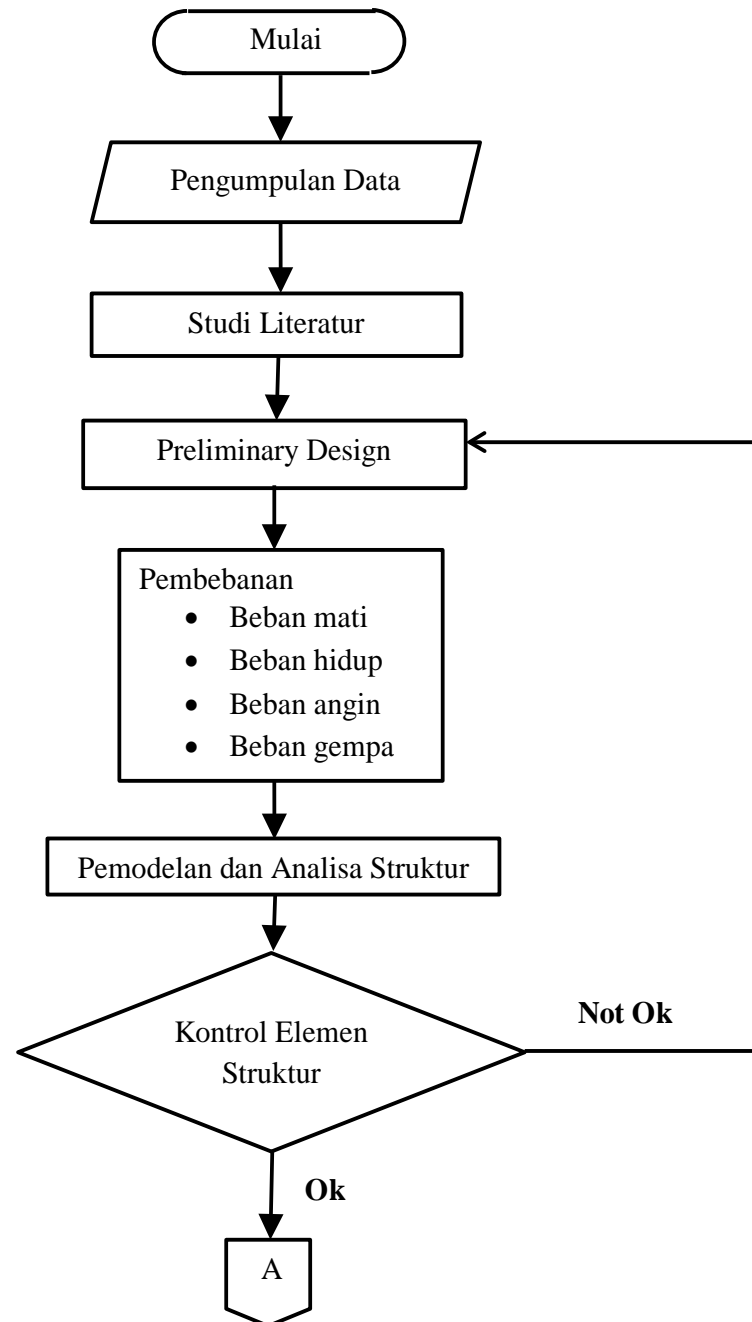


BAB III

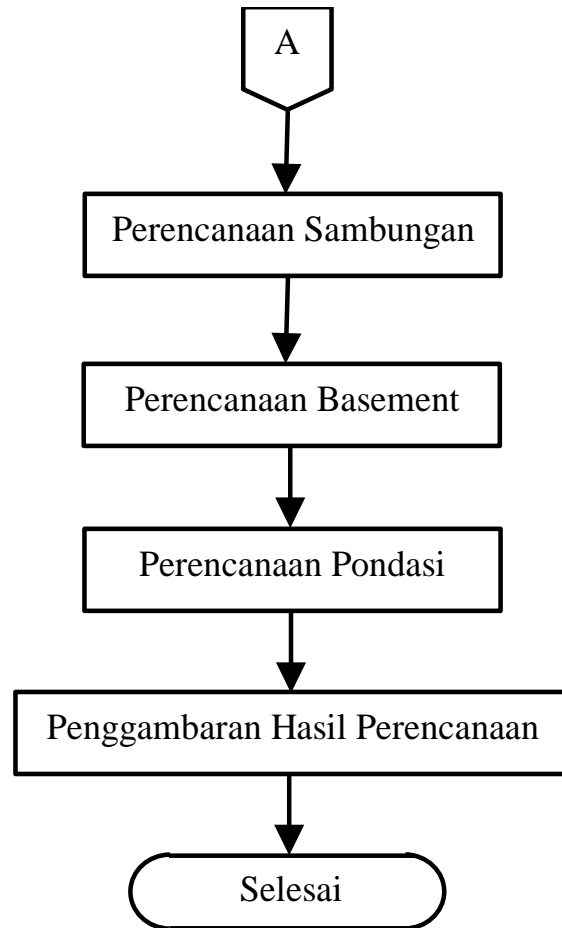
METODOLOGI



METODOLOGI



METODOLOGI



BAB IV

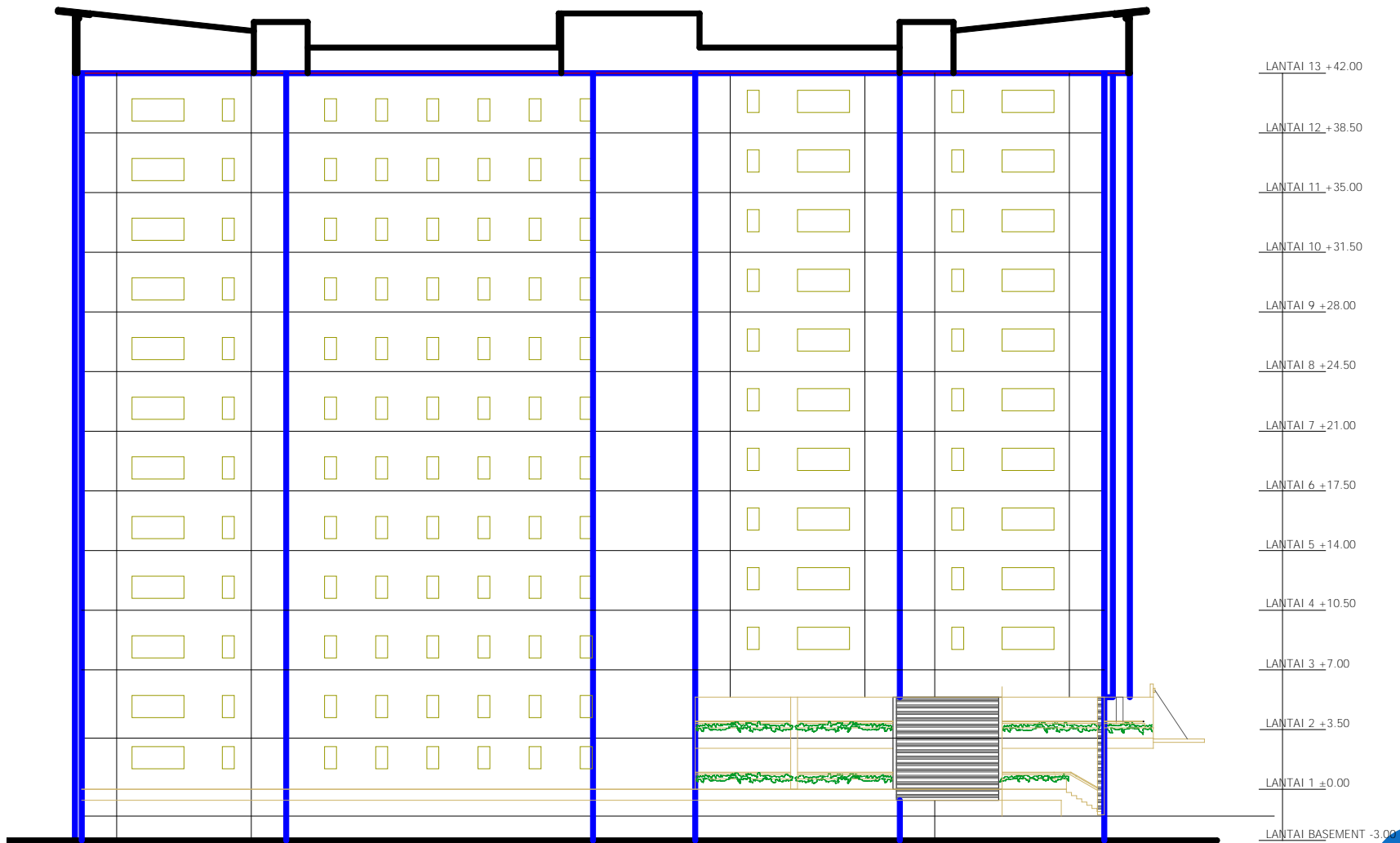
HASIL DAN PEMBAHASAN



DATA UMUM BANGUNAN

Nama gedung	: Apartemen Pavilion Permata Surabaya
Lokasi	: Surabaya
Fungsi bangunan	: Apartemen
Panjang bangunan	: 13.65 m
Lebar bangunan	: 61.10 m
Tinggi antar lantai	: 3.5 m
Tinggi lantai 1	: 3 m

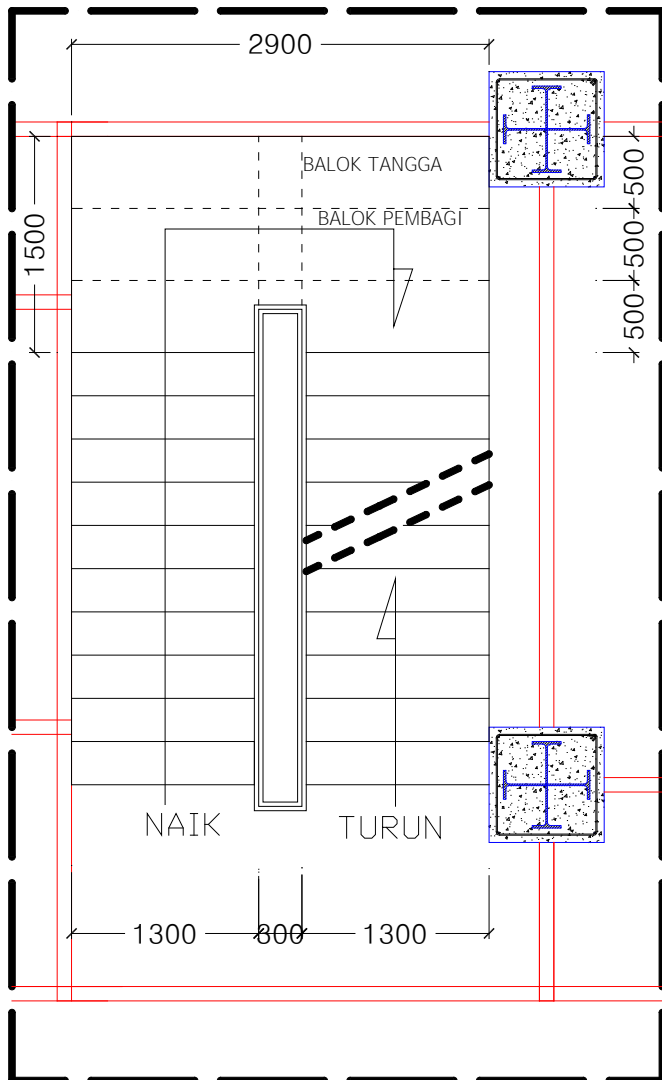




TAMPAK DEPAN

PERENCANAAN STRUKTUR SEKUNDER

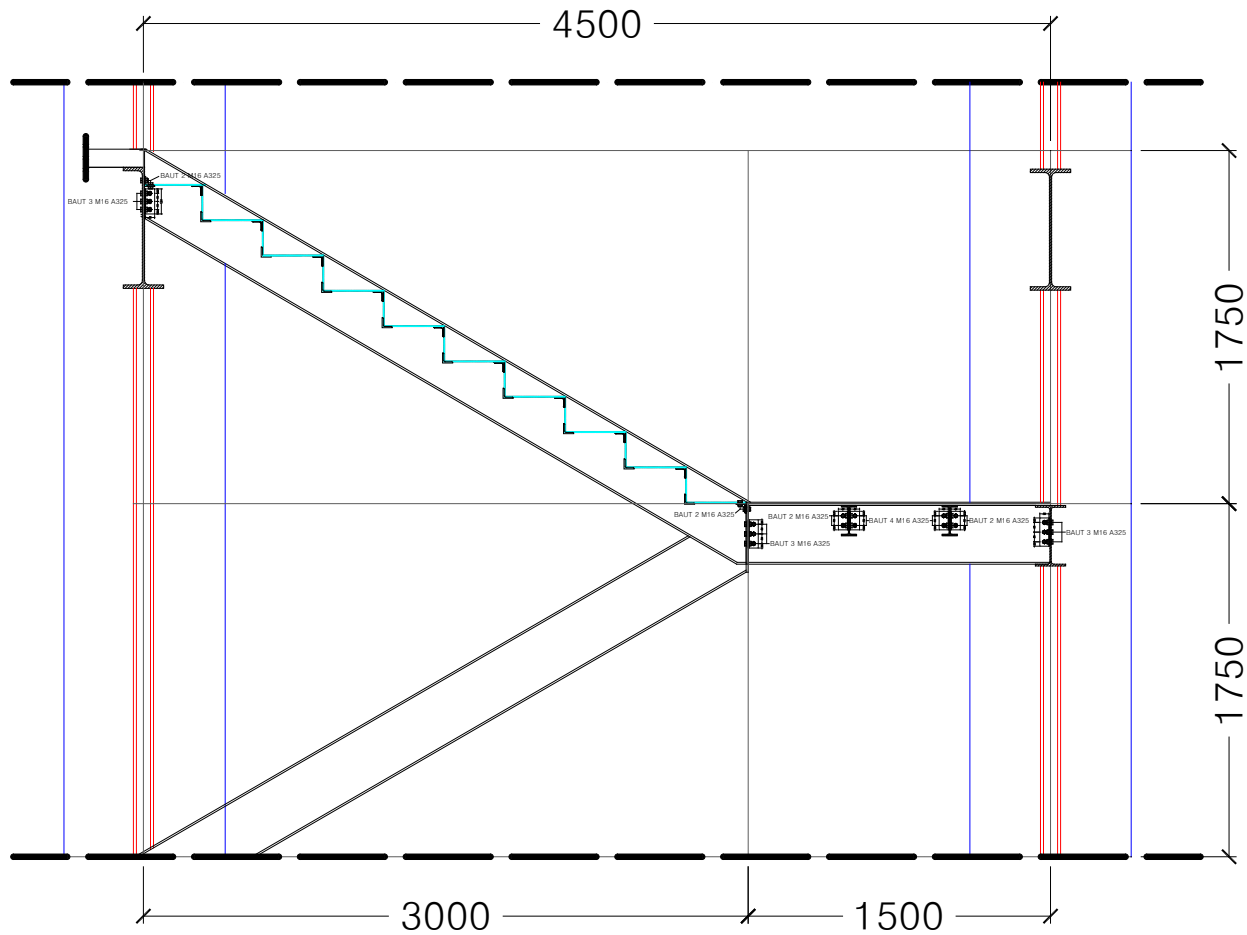
➤ Perencanaan Tangga



Tinggi tangga : 175 cm
Panjang tangga : 300 cm
Lebar bordes : 130 cm
Tinggi injakan : 17.5 cm
Lebar injakan : 30 cm
Bordes : pelat tebal 7 mm
Profil tangga : WF 300.150.6,5.9

DENAH TANGGA

PERENCANAAN STRUKTUR SEKUNDER



POTONGAN MEMANJANG TANGGA

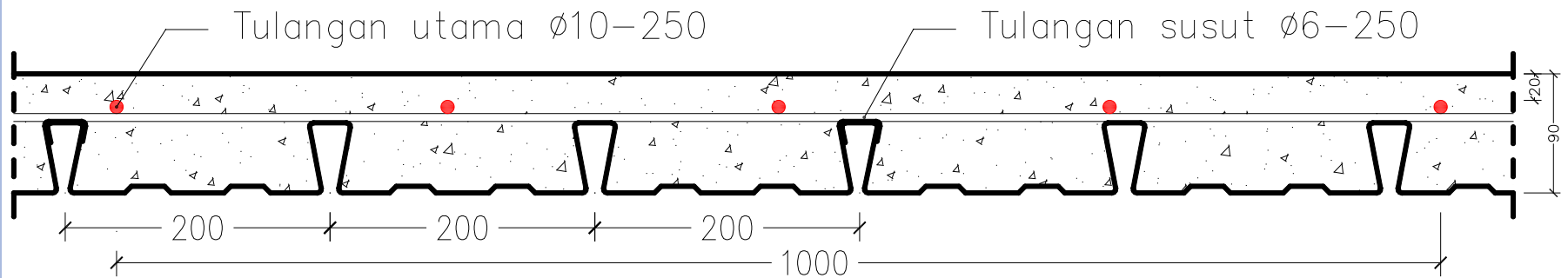


PERENCANAAN STRUKTUR SEKUNDER

➤ Perencanaan pelat lantai

Perencanaan pelat lantai pada gedung yang direncanakan menggunakan Bondek dengan tabel perencanaan praktis dari SUPER FLOOR DECK. Struktur lantai direncanakan tanpa penyangga selama proses pengerasan, pelat beton dengan tebal bondek 0.75 mm, mutu baja f'_c 25 MPa, dan mutu baja tulangan $f_y = 480$ MPa. Untuk pembebanan meliputi beban finishing dan beban hidup (beban berguna). Beban mati (berat sendiri Super Deck dan pelat beton) sudah diperhitungkan. Beban berguna dalam tabel praktis adalah jumlah beban hidup dan beban beban finishing.

Pelat lantai atap

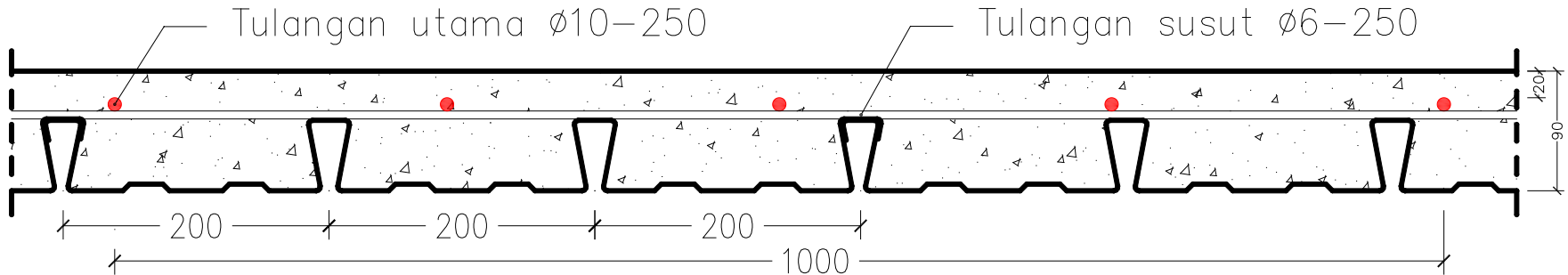


- tulangan negatif $\emptyset 10 - 250$ mm
- tulangan susut $\emptyset 6 - 250$ mm



PERENCANAAN STRUKTUR SEKUNDER

Pelat lantai 1-12 tipikal



- tulangan tarik $\phi 10 - 250$ mm
- tulangan susut $\phi 6 - 250$ mm



PERENCANAAN STRUKTUR SEKUNDER

➤ Perencanaan Balok Anak

Balok Anak Lantai Atap (BA1) : WF 400x200x7x11

Penghubung Geser :

- $d_s = 16 \text{ mm}$
- jumlah penghubung geser jika dipasang 2 stud per tampang melintang = 60 buah, jarak stud memanjang (S) = 140 mm, jarak stud melintang (S_1) = 64 mm

Balok Anak Lantai Atap(BA2) : WF 400x200x7x11

Penghubung Geser :

- $d_s = 16 \text{ mm}$
- jumlah penghubung geser jika dipasang 2 stud per tampang melintang = 60 buah, jarak stud memanjang (S) = 140 mm, jarak stud melintang (S_1) = 64 mm



PERENCANAAN STRUKTUR SEKUNDER

➤ Perencanaan Balok Anak

Balok Anak Lantai Atap (BA3) : WF 400x200x7x11

Penghubung Geser :

- $d_s = 16 \text{ mm}$
- jumlah penghubung geser jika dipasang 2 stud per tampang melintang = 60 buah, jarak stud memanjang (S) = 140 mm, jarak stud melintang (S_1) = 64 mm

Balok Anak Lantai 1-12 (BA4) Tipikal : WF 400x200x7x11

Penghubung Geser :

- $d_s = 16 \text{ mm}$
- jumlah penghubung geser jika dipasang 2 stud per tampang melintang = 60 buah, jarak stud memanjang (S) = 140 mm, jarak stud melintang (S_1) = 64 mm



PERENCANAAN STRUKTUR SEKUNDER

➤ Perencanaan Balok Anak

Balok Anak Lantai 1-12 (BA5) Tipikal : WF 400x200x7x11

Penghubung Geser :

- $d_s = 16 \text{ mm}$
- jumlah penghubung geser jika dipasang 2 stud per tampang melintang = 60 buah, jarak stud memanjang (S) = 140 mm, jarak stud melintang (S_1) = 64 mm

Balok Anak Lantai 1-12 (BA6) Tipikal : WF 400x200x7x11

Penghubung Geser :

- $d_s = 16 \text{ mm}$
- jumlah penghubung geser jika dipasang 2 stud per tampang melintang = 60 buah, jarak stud memanjang (S) = 140 mm, jarak stud melintang (S_1) = 64 mm



PERENCANAAN STRUKTUR SEKUNDER

➤ Perencanaan Balok Penggantung Lift

Perencanaan balok lift meliputi balok penumpu dan balok penggantung lift pada bangunan ini menggunakan lift penumpang produksi Sigma Elevator Company. Data -data lift yang digunakan adalah sebagai berikut:

- Tipe Lift : Passenger Elevators
- Merk : Hyundai Elevator
- Kapasitas : 15 orang/1000 kg
- Lebar pintu : 900 mm

(Opening Width)

- Dimensi ruang luncur : $4200 \times 2100 \text{ mm}^2$

(Hoistway Inside) 2 car

- Dimensi sangkar

(Car size)

Internal : $1600 \times 1500 \text{ mm}^2$

Eksternal : $1660 \times 1655 \text{ mm}^2$

- Dimensi ruang mesin : $4200 \times 2100 \text{ mm}^2$

(2 car)

- Beban reaksi ruang mesin

R1 = 5450 kg

R2 = 4300 kg

❖ digunakan profil WF 400x300x10x11



➤ Kontrol Drift



PERENCANAAN STRUKTUR PRIMER

➤ Balok Induk Memanjang (BI1)

- Digunakan profil WF 600x200x11x17
- Jumlah penghubung geser momen positif :110 buah
- Jika dipasang 2 stud per penampang melintang maka jarak stud (S) adalah :

$$(S) = \frac{6000}{114/2} = 105 \text{ mm}$$

Jarak stud melintang :

$$(S1) = 4D = 4 \times 16 = 64 \text{ mm}$$

➤ Balok Induk Memanjang (BI1)

- Digunakan profil WF 600x200x11x17
- Jumlah penghubung geser momen positif :110 buah
- Jika dipasang 2 stud per penampang melintang maka jarak stud (S) adalah :

$$(S) = \frac{6000}{114/2} = 105 \text{ mm}$$

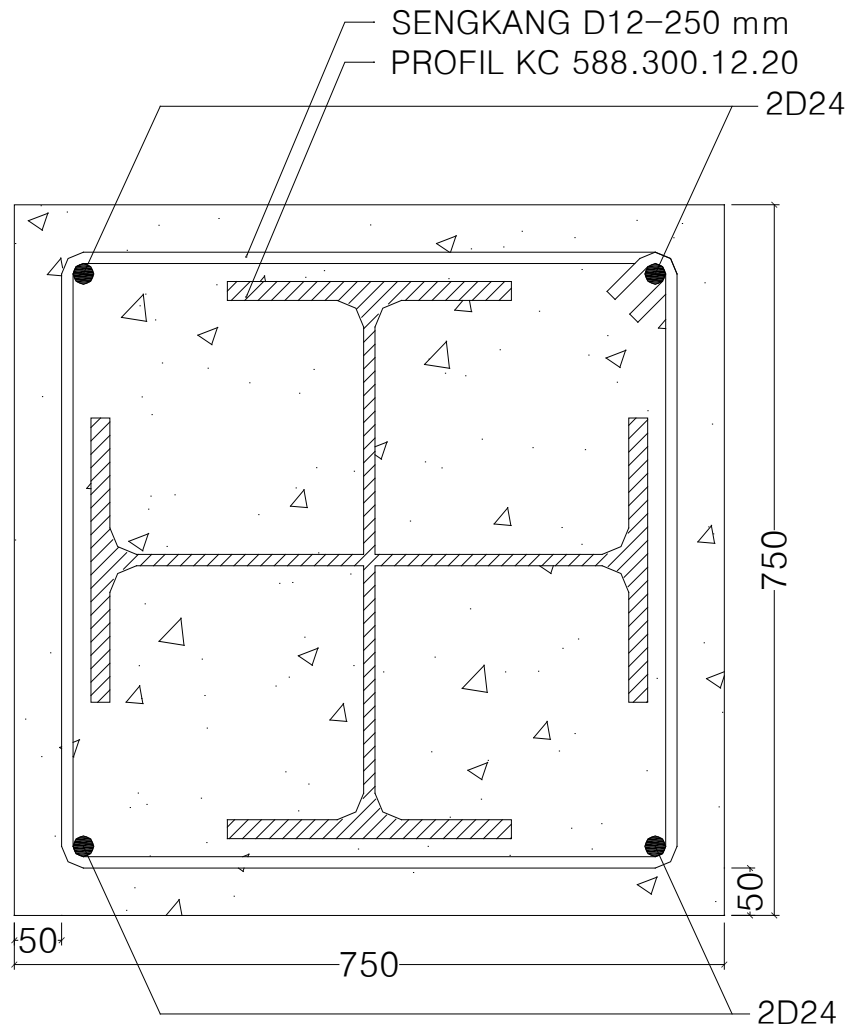
Jarak stud melintang :

$$(S1) = 4D = 4 \times 16 = 64 \text{ mm}$$



PERENCANAAN STRUKTUR PRIMER

➤ Kolom Komposit



Kontrol persamaan interaksi :

$$P_r = P_u = 71534301.83 \text{ N}$$

$$P_c = \phi_c P_u = 0.75 \times 25311838.45 \\ = 18983878.84 \text{ N}$$

$$M_r = M_u$$

$$M_c < \phi M_n$$

$$\frac{P_r}{P_c} = \frac{71534301.83}{18983878.84} = 0.377 > 0.2$$

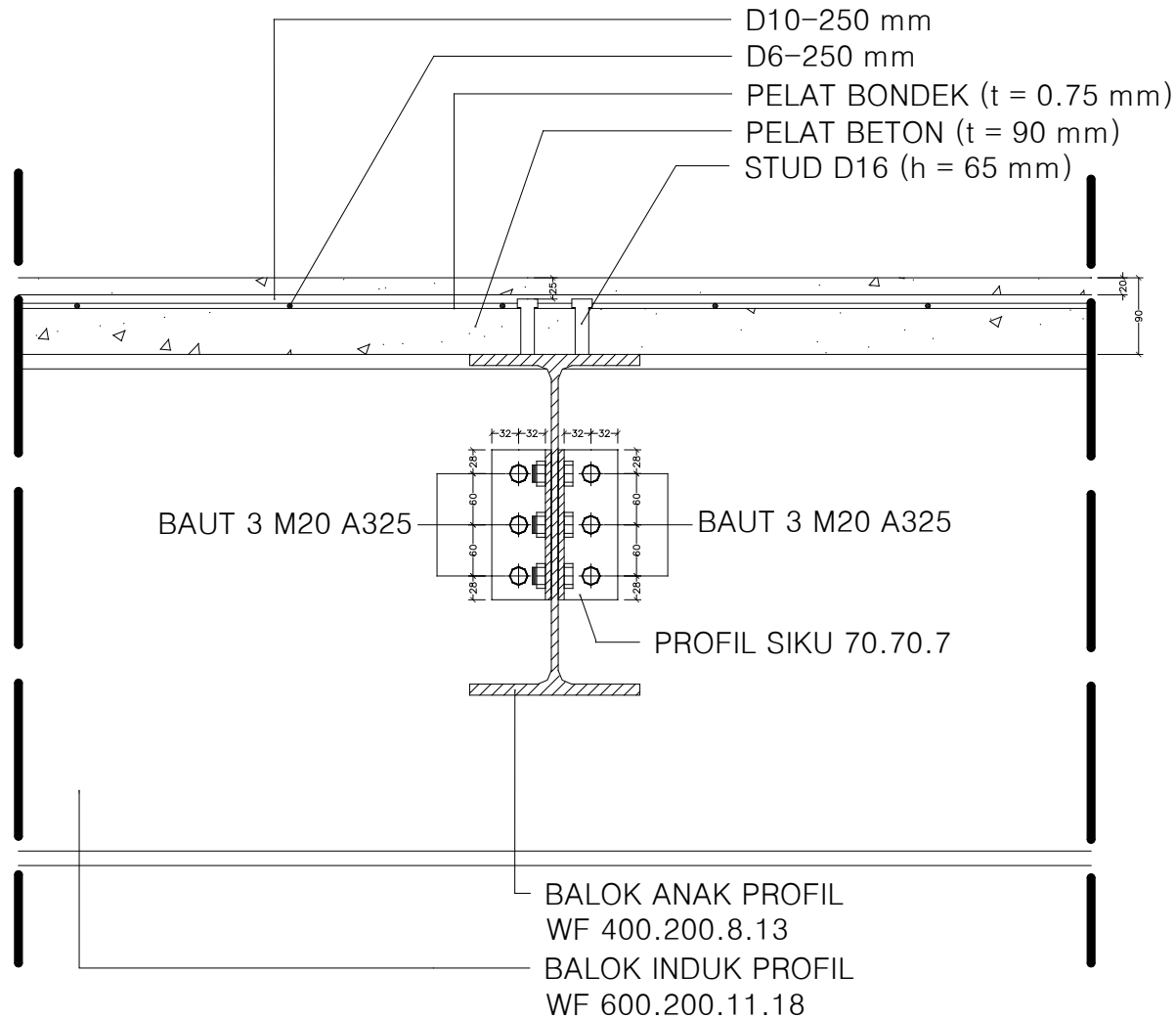
$$\rightarrow \frac{P_r}{2P_c} + \left(\frac{M_{rx}}{M_{cx}} + \frac{M_{ry}}{M_{cy}} \right)$$

(SNI 1729:2015 Pasal H1.1)

$$\frac{P_r}{2P_c} + \left(\frac{M_{rx}}{M_{cx}} + \frac{M_{ry}}{M_{cy}} \right) \\ = \frac{71534301.83}{2 \times 18983878.84} + \left(\frac{20276.24}{116830.78} + \frac{52954.62}{119060.527} \right) \\ = 0.807 \leq 1 \quad (\text{Ok})$$

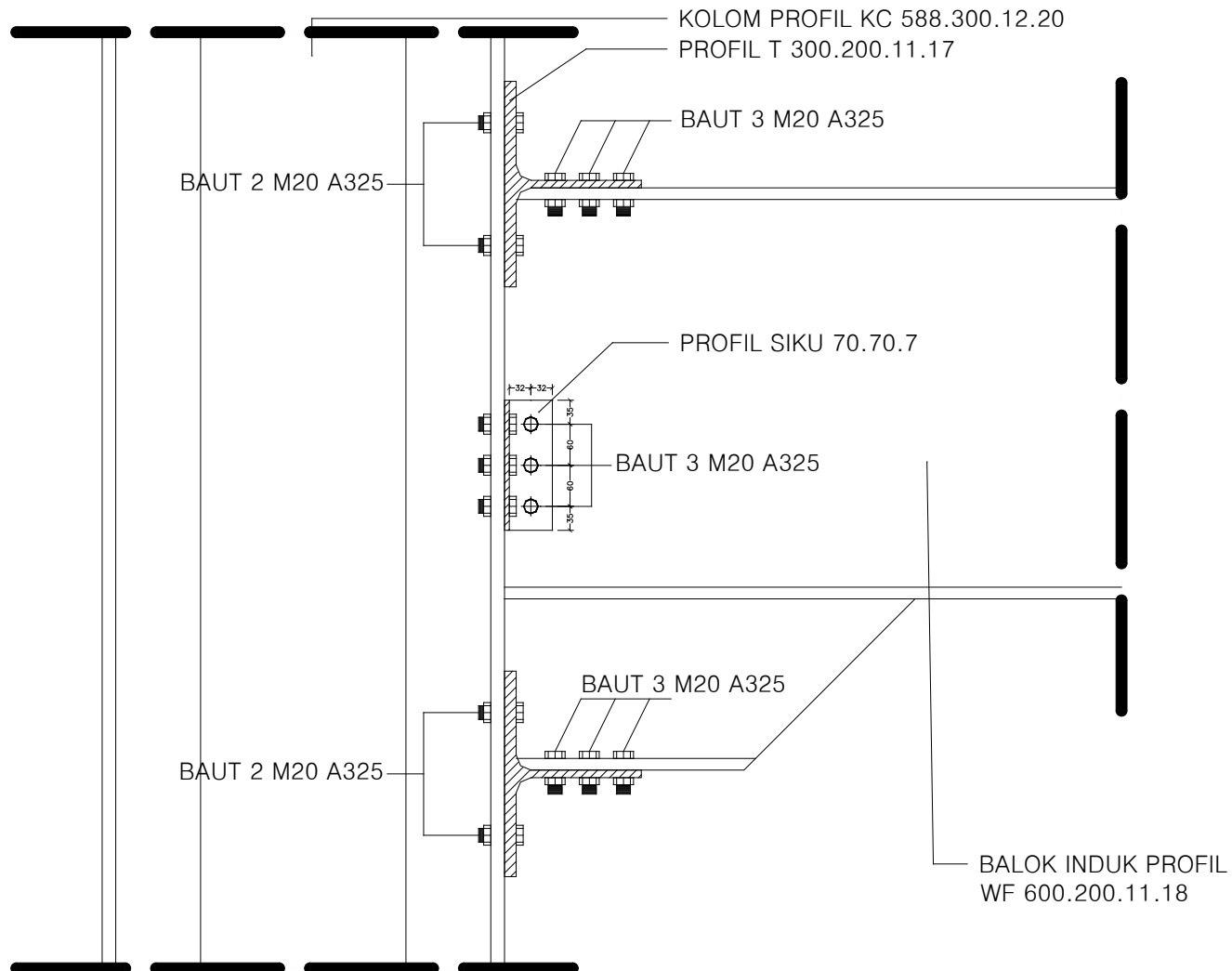
PERENCANAAN SAMBUNGAN

➤ Sambungan balok anak dengan balok induk



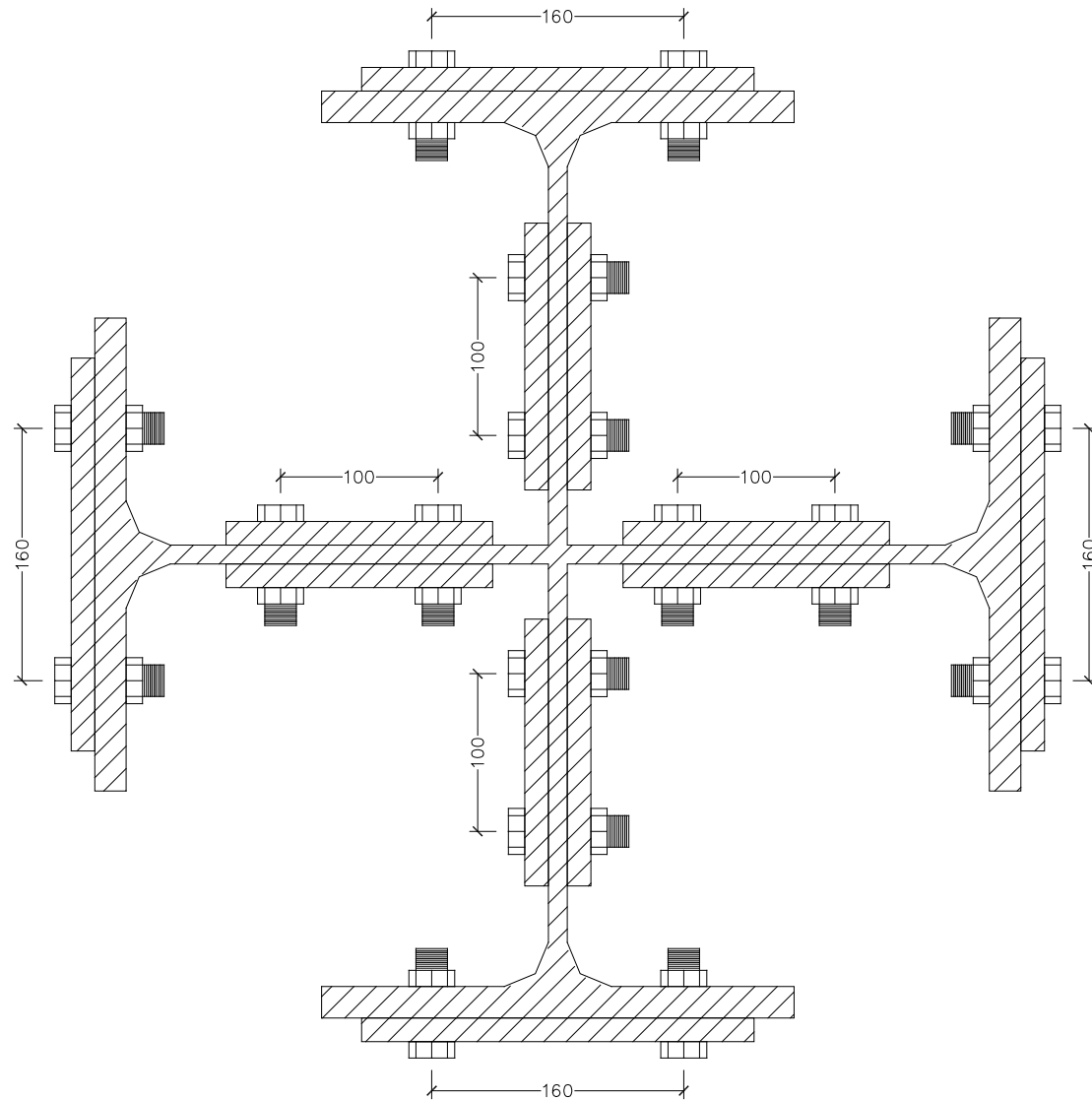
PERENCANAAN SAMBUNGAN

➤ Sambungan kolom dengan balok induk



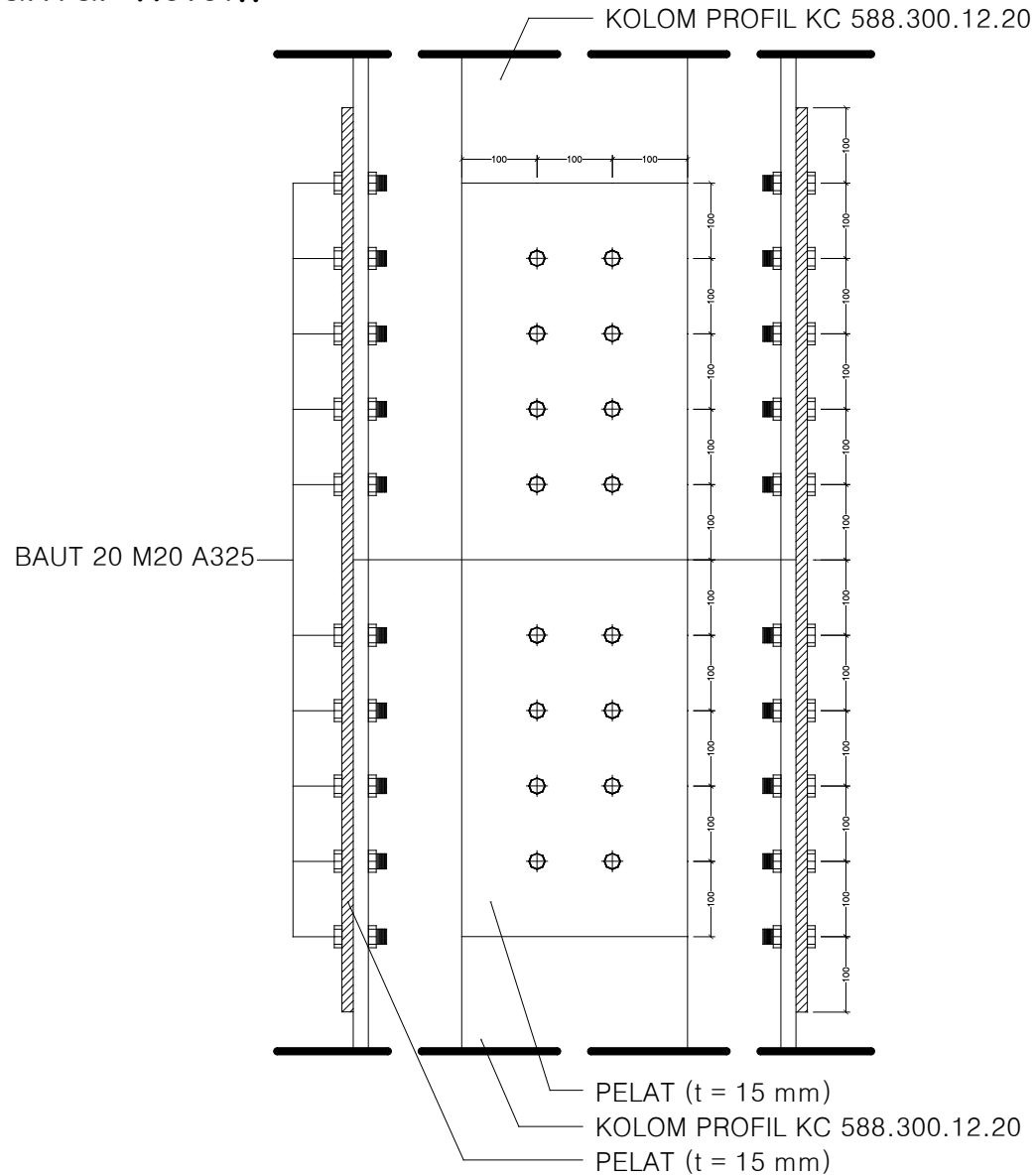
PERENCANAAN SAMBUNGAN

➤ Sambungan antar kolom



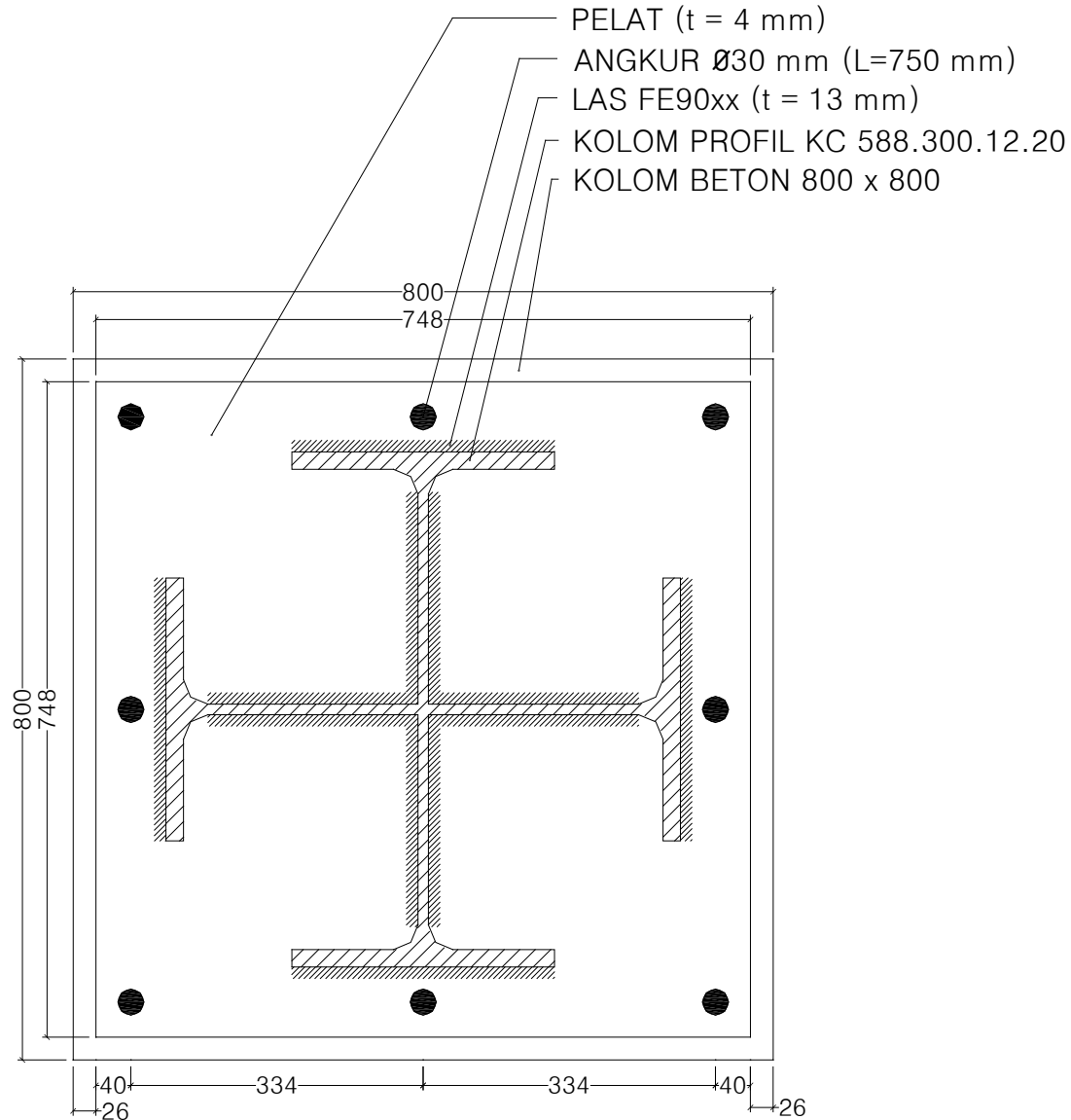
PERENCANAAN SAMBUNGAN

➤ Sambungan antar kolom



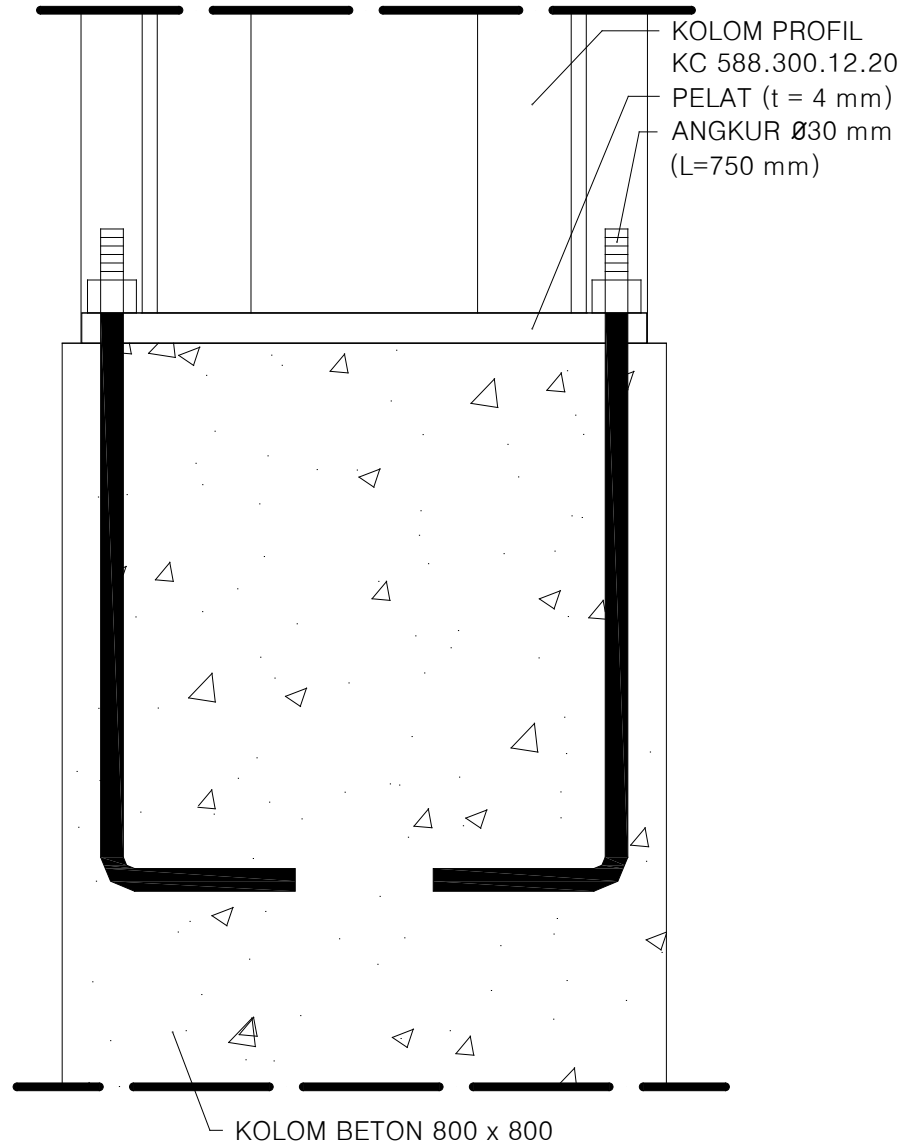
PERENCANAAN SAMBUNGAN

➤ Sambungan kolom dengan base plate



PERENCANAAN SAMBUNGAN

➤ Sambungan kolom dengan base plate



PERENCANAAN STRUKTUR BAWAH

➤ Perencanaan pondasi

Pondasi pada gedung apartemen ini direncanakan memakai pondasi tiang pancang beton (Concrete Pile) dengan penampang bulat berongga (Round Hollow) dari produk PT. WIKA Beton. Spesifikasi tiang pancang yang akan digunakan adalah sebagai berikut:

- Diameter tiang : 450 mm
- Tebal tiang : 80 mm
- Klasifikasi : A3
- Concrete cross section : 930 cm^2
- Berat : 232 kg/m
- Bending moment crack : 10 ton.m
- Bending moment ultimate : 15 ton.m
- Allowable axial load : 143.80 ton



PERENCANAAN STRUKTUR BAWAH

➤ Perencanaan pondasi

Daya dukung bahan:

Dari spesifikasi bahan tiang pancang (tabel spesifikasi WIKA), didapat:

P ijin 1 tiang pancang = 143.80 ton

Daya dukung tanah:

P ijin satu tiang pancang = 145.48 ton

Maka daya dukung satu tiang pondasi adalah 145.48 ton.

Jarak antar tiang:

$$2.5D \leq S \leq 3D$$

$$2.5 \times 45 \leq S \leq 3 \times 45$$

$$112.5 \leq S \leq 135$$

Digunakan jarak antar tiang $S = 135$ cm

Jarak tepi tiang pancang:

$$1D \leq S \leq 2D$$

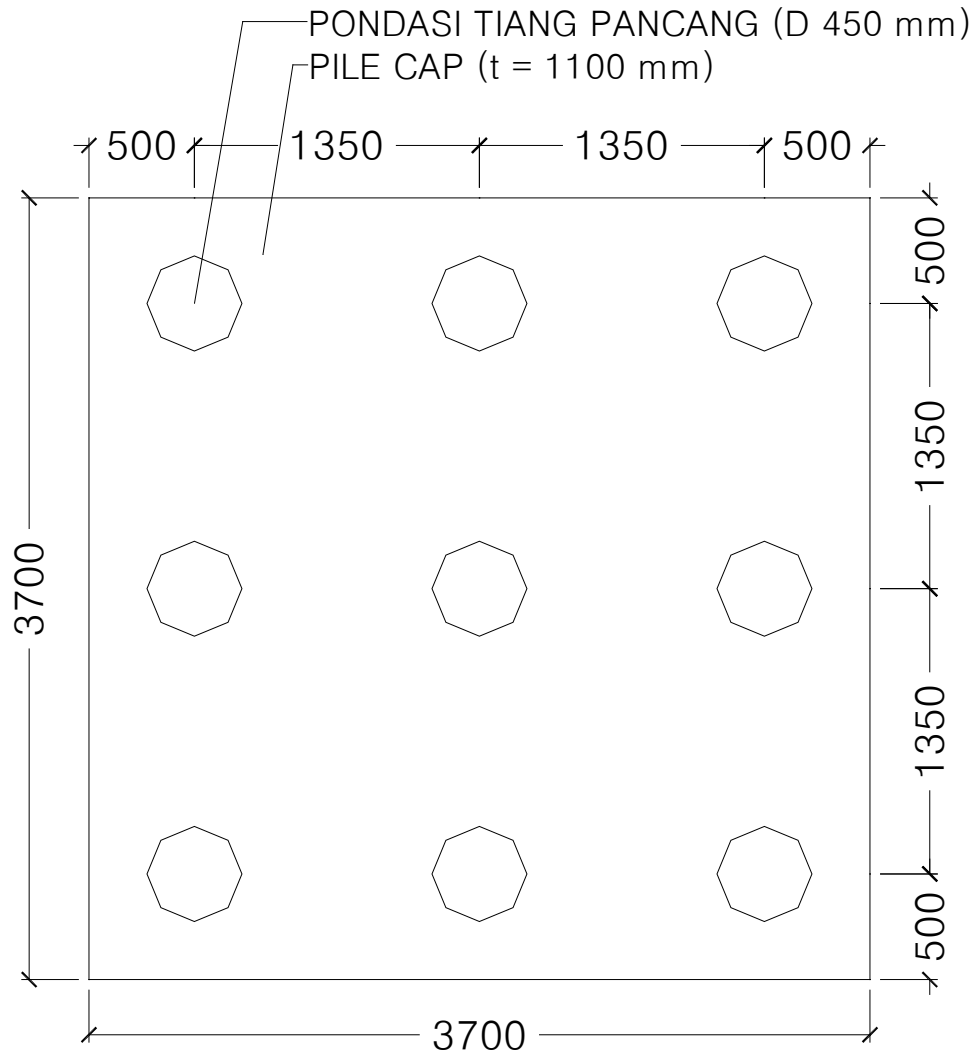
$$1 \times 45 \leq S \leq 2 \times 45$$

$$45 \leq S \leq 90$$

Digunakan jarak tepi tiang $S = 50$ cm

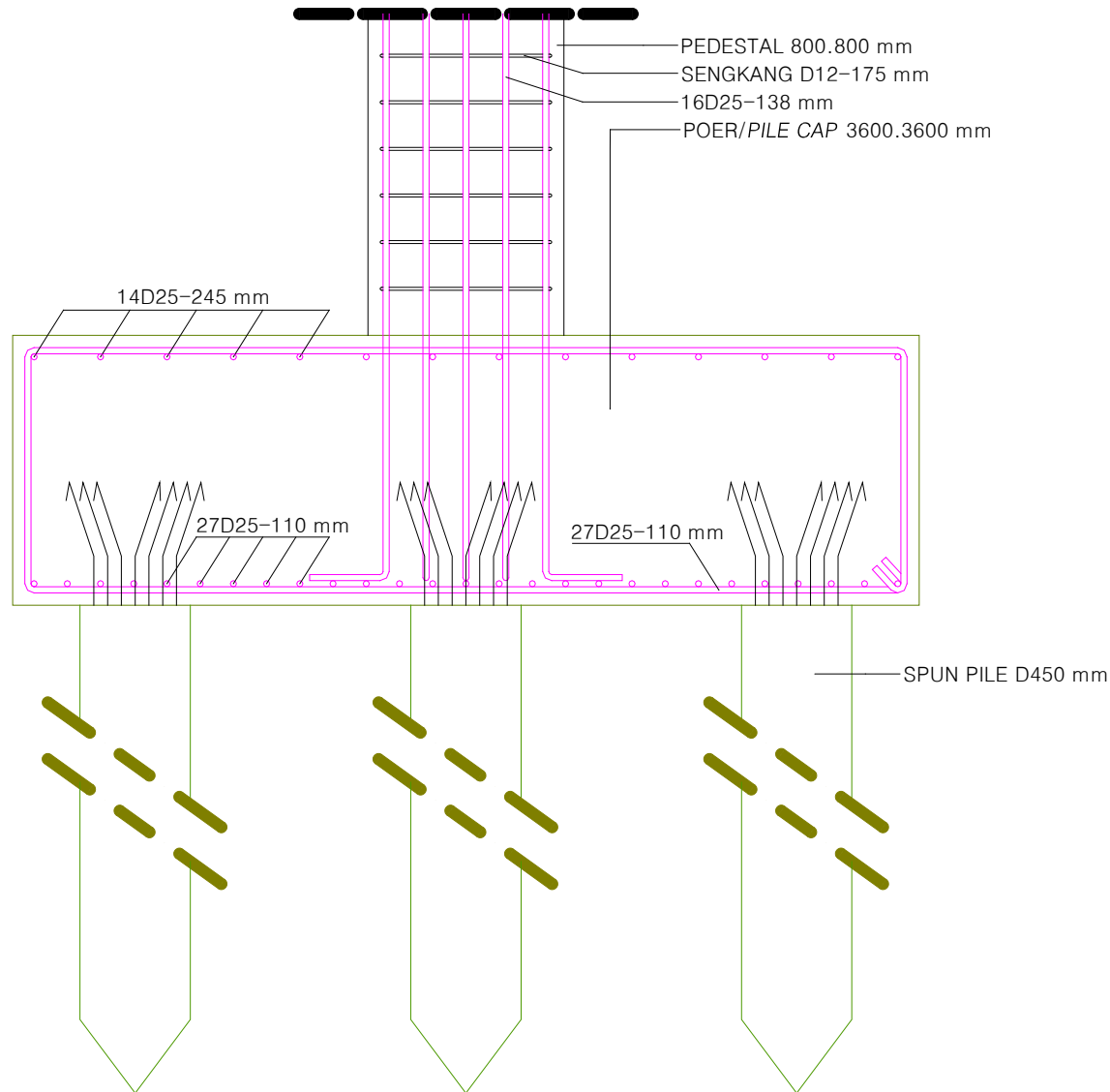


PERENCANAAN STRUKTUR BAWAH



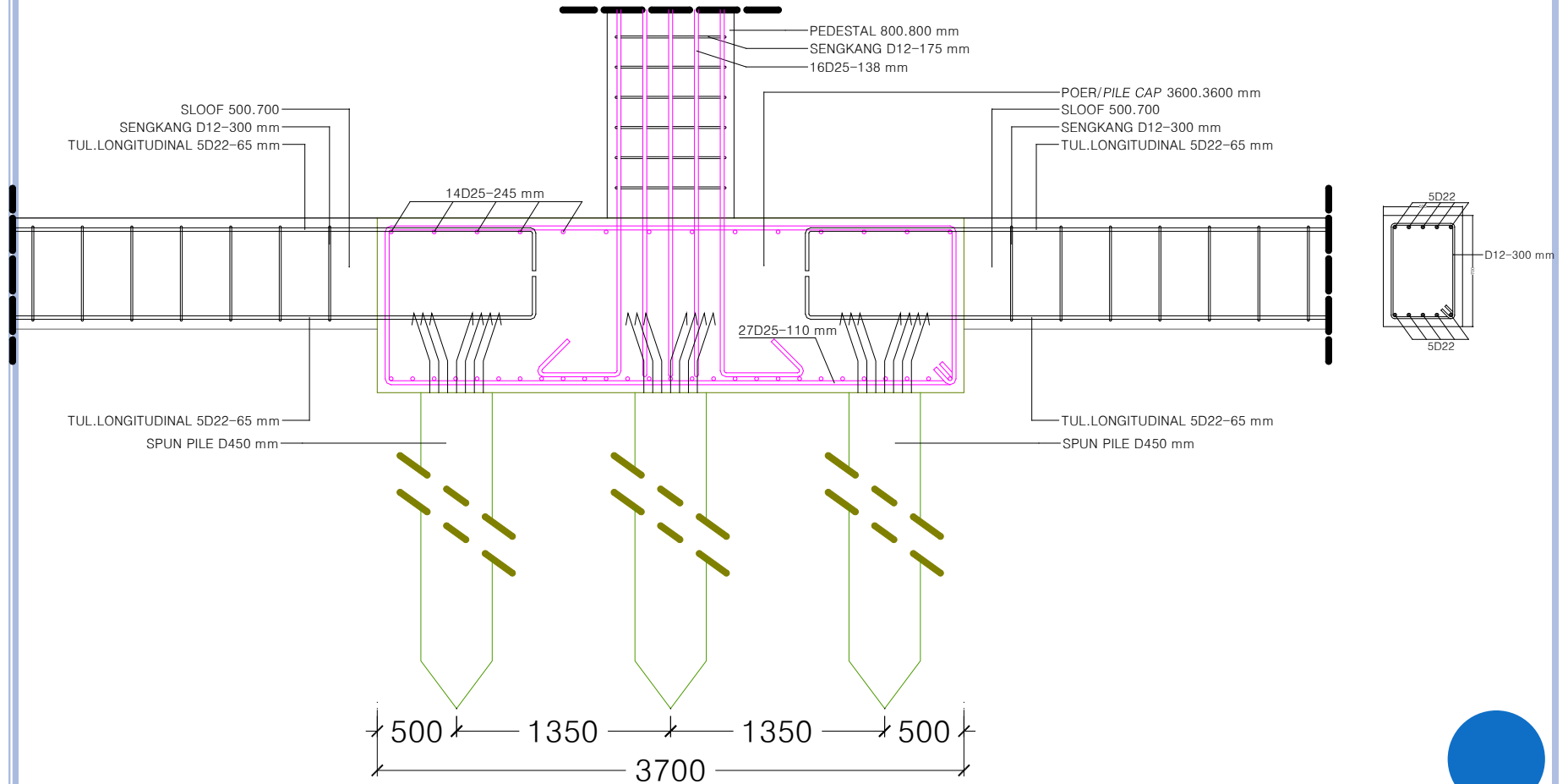
PERENCANAAN STRUKTUR BAWAH

➤ Perencanaan Poer



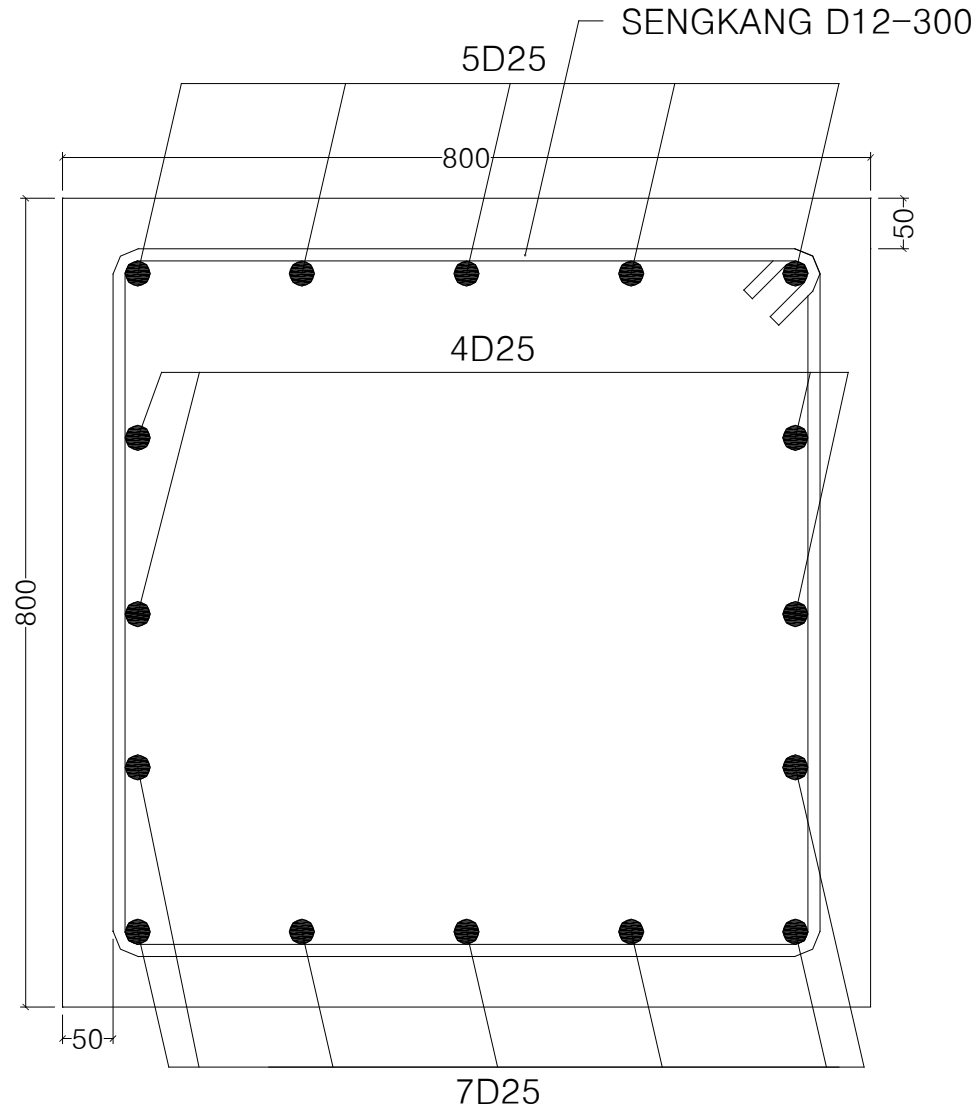
PERENCANAAN STRUKTUR BAWAH

➤ Perencanaan Sloof



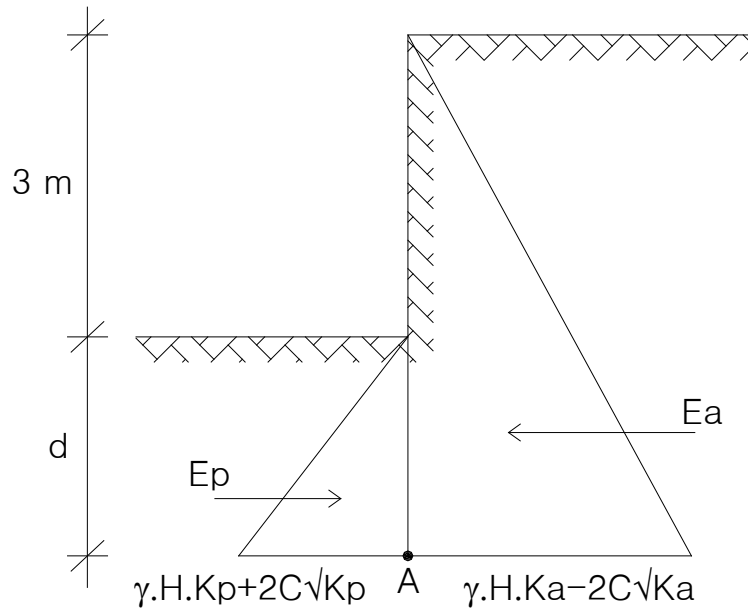
PERENCANAAN STRUKTUR BAWAH

➤ Perencanaan kolom pedestal



PERENCANAAN STRUKTUR BAWAH

➤ Perencanaan basement



	Gaya (ton)	r (m)	M (ton.m)
P_a	-21.110	2.517	-53.131
P_p	36.842	1.517	55.886
M_{max}		=	2.755



PERENCANAAN STRUKTUR BAWAH

➤ Perencanaan basement

Berdasarkan perhitungan yang telah dilakukan digunakan dinding penahan tanah jenis FLAT CONCRETE SHEET PILE Type FRC-320 Class A dengan spesifikasi sebagai berikut :

Width = 500 mm

Cross Section (t) = 1585 cm²

Section Inertia = 135455 cm⁴

Unit weight = 396 kg/m

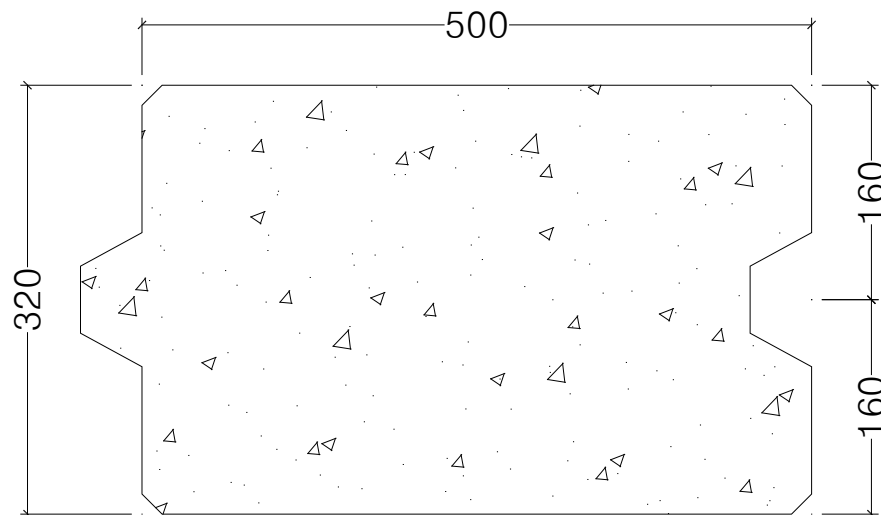
Moment Crack = 3.20 ton.m/0.5 m

Momen Capacity = 195 ton.m/0.5 m

Momen Breaking = 6.26 ton.m/0.5 m

Length = 4 - 8 m

Concrete Compressive Strength (Class A) $f'_c = 28 \text{ MPa}$ (Cube 350 kg/cm²).



KESIMPULAN

1. Dimensi struktur yang digunakan adalah sebagai berikut:

- Tebal pelat:

Pelat atap: 9 cm

Pelat lantai : 9 cm

- Dimensi kolom:

Selubung beton : 75 ×75 cm

Profil : KC 588×300×12×20

- Dimensi balok induk : WF 600×200×11×17

- Dimensi balok anak:

Atap : WF 400×200×7×11

Lantai : WF 400×200×7×11

- Profil balok tangga:

Utama : WF 300×150×6.5×9

Penumpu : WF 200×100×5.5×8

- Profil balok lift : WF 400×300×10×16

2. Hasil perhitungan struktur bawah didapatkan dimensi pedestal 800×800 mm (tulangan utama 16D25, tulangan geser D12-300 mm, dimensi sloof adalah 500×700 mm (tulangan lentur 10D12, tulangan geser D12-300 mm, pondasi menggunakan pondasi tiang pancang dari produk PT WIKA Beton D 45 cm dengan kedalaman 30 m dan dinding penahan tanah (basement) menggunakan jenis FLAT CONCRETE SHEET PILE Type FRC-320 Class A.